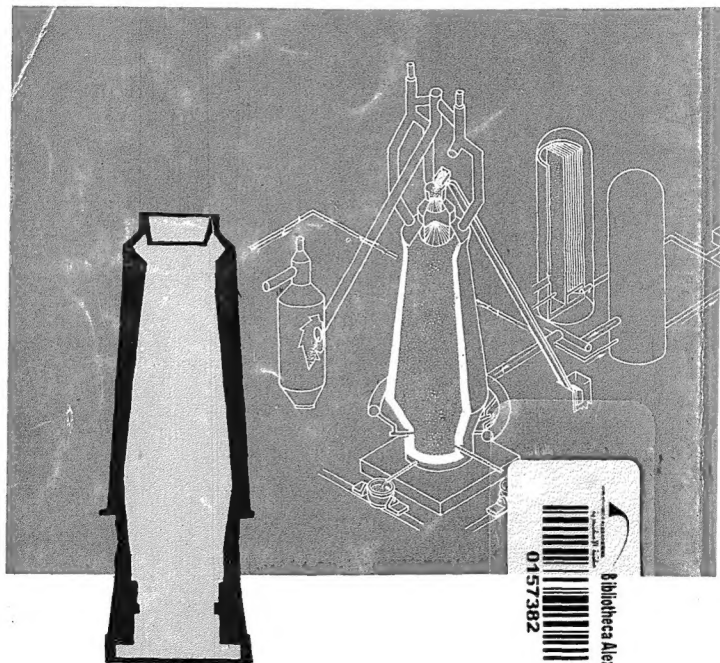


الفرن العالي



0157382



المكتبة
بمبنى 13

Bibliotheca Alexandrina

أسس التكنولوجيا

الأسس التكنولوجية
يشرف عليها
دكتور مهندس أنور محمود عبد الواحد

القرن العاشر

دكتور مهندس عبد الرؤوف رضوان

مؤسسة الأهرام بالقاهرة

مقدمة

تزخر المكتبات بالعديد من الكتب التي تتعرض لموضوع تخصصي واحد، ولكن من مجموعة زوايا تختلف وهدف المؤلف. ورغم النهضة التي نلمسها على المستوى العالمي في التأليف والترجمة، إلا أن عدد الكتب والمراجع التي تتناول دقائق القرن العاشر، لا تزال تُعَدُّ على الأصابع، وخاصة تلك التي تربط بين الجوانب النظرية، والجوانب العملية والتطبيقية لهذا الموضوع، وهذه الأخيرة تتطلب خبرة طويلة، وممارسة فعلية، في تشغيل القرن العاشر.

ومع تقدم وتطور الصناعة في الوطن العربي، أصبحت الحاجة ماسة إلى تزويد المكتبة العربية بالكتب المتخصصة، ومن هنا اتجه التفكير إلى تصنيف هذا الكتاب، وقد روعيت في كتابته وتصنيفه سهولة اللفظ، وبساطة السرد، والبعد عن التعقيد، حتى يتيسر الإلمام بما ورد به من معلومات، تُمكن المهندسين، والفنيين العاملين بالأفران العالية، من الإحاطة بتكنولوجيا الأفران العالية، وفي الوقت نفسه، تتيح للمهندسين، والفنيين بصفة عامة، الإطلاع على تفاصيل هذا الموضوع الهام، بوصفه المرحلة الأولى من مراحل صناعة الحديد والصلب، وهي الصناعة الثقيلة التي تمثل القاعدة الأساسية المكنية لتصنيع الوطن العربي.

ونرجو أن نكون قد وفقنا فيما هدفتنا إليه، والله ولي التوفيق.

عبد الرؤوف رضوان

الباب الأول

الخامات المستخدمة بالفرن العالي

ينتج الفرن العالي ، الحديد الزهر الخام ، باستخدام العديد من الخامات والمواد الأولية . وهذه تكون في مجموعها ما يسمى « بشحنة الفرن العالي » ، التي تحظى عالمياً باهتمام كبير عند تجهيزها أو إعدادها ، وتخضع لقواعد خاصة في تحديد المواصفات الكيميائية والفيزيائية الخاصة بكل مكون من مكوناتها ، لما لذلك من أثر فعال على تكلفة الإنتاج .

وتتكون شحنة الفرن من خامات الحديد ، وبعض الإضافات من مخلفات المصانع التي تحوى المعدن ، والمصهرات ، والكوك .

وفي هذا الباب ، نتعرض بصورة سريعة لمصادر ، وخواص ، وطرق تجهيز مكونات الشحنة هذه ، بهدف التوضيح المبسط ، دون الدخول في التفاصيل الدقيقة .

خام الحديد بالعالم :

بدأ العالم في استغلال خام الحديد منذ أمد بعيد ، ونظراً للبداية التي كان يعالج بها الخام للحصول على المعدن منه ، فإن الخامات التي استغلت ، شكلت غالبية الخامات الجيدة بالعالم ، ومع تناقص النوع الجيد من الخام ، اضطر المشتغلون بتلك الصناعة ، إلى البحث لإيجاد الوسائل والطرق التي يمكن بها معالجة الخامات الأقل جودة ، بما كان له الأثر الفعال في التقدم التكنولوجي لعمليات تجهيز الخامات ، وتحسين أداء المعدات التي تستخدم في هذا المجال . كما اضطر الجيولوجيون ورجال التعدين ، للعمل دون توان ، لتعويض التناقص المطرد للخامات ، فاستخدمت أحدث الوسائل للكشف والاستغلال . وقد نجم عن ذلك اكتشاف مناطق شاسعة من الخامات الفقيرة التي لم تستغل حتى الآن ، وإن كانت تشكل أهمية كبرى كرسيد للخام في الأجيال القادمة ، حين ينضب معين المصادر الحالية .

وتهدف الأبحاث الحالية التي تجرى على مستوى عالمي ، إلى إيجاد أحسن الطرق وأكثرها ملائمة لمعالجة هذه الخامات . وهذا يمثل في الواقع الأسلوب المنطقي الذي يجب أن يسير عليه العالم ، إذا استمر التوسع المطرد في الصناعات الحديدية ، وإذا لم تكتشف مواد أخرى لتحل محل الصلب في بعض استخداماته .

وقد استنفد العالم منذ عام ١٨٠٠ وحتى الآن ، ما يقرب من ١١ بليون طن من خام الحديد ، لإنتاج كميات الحديد التي أنتجها خلال هذه الفترة . وإذا كانت كميات الخام الحقيقية بالعالم غير معروفة بالضبط حتى الآن ، فليس مرجح ذلك إلى أن الأفعال الجيولوجية لم تستكمل على النطاق العالمى كله ، بقدر ما يرجع إلى أن معايير القياس تختلف من بلد لآخر ، حتى إنه أصبح من الصعب الآن ، تحديد نسبة الحديد في الخام التي تصلح أساساً للمقارنة عالمياً . وعلاوة على ذلك ، فلقد اختلفت الطرق في تحديد الخام المؤكد والخام المحتمل ، وعليه أصبح من الممكن أن الخام الذى يعد « محتملاً » في إحدى دول العالم ، قد يكون « مؤكداً » تبعاً للمعايير المتبعة في بلد آخر ، وهكذا .

مناطق وجود خام الحديد بالدول العربية

أثبتت أعمال المسح الجيولوجى ، أن ثلثي كمية الخام المعروف بالقارة الأفريقية ، توجد في شمالها بمناطق ساحل البحر المتوسط ، وفي اتحاد جنوب أفريقيا . ومن أهم مصادر الخامات لتي بدأ استغلالها ، تلك الموجودة في موريتانيا ، حيث يوجد الخام الأولي في شمالها ، ويبلغ الخام المؤكد بها حوالى ١٥٠ مليون طن ، ويستغل حالياً للتصدير .

أما في الجزائر ، فيوجد الخام الهياتي الذي تتنافس للحصول عليه دول أوروبا لاستخدامه في صناعة صلب بسمر ، غير أن كمية الخام الباقية لا تجعل هذا المصدر أهم مصادر الخام بالقارة الأفريقية ، وتقدر كمية الخام المؤكد بالجزائر بحوالى ١٥٠ مليون طن .

ويستغل جزء منه في صناعة الحديد والصلب بالجزائر حالياً .

أما في تونس ، فتوجد خامات السيدريت والماجنتيت ، وتحوى تقريباً ٥٤% من وزنها حديد ، بالإضافة إلى نسبة عالية من المنجنيز ، ويستخدم جزء من هذا الخام حالياً في صناعة الحديد والصلب بتونس ، إلا أن معظم الكمية المستخرجة في المناجم ، تصدر للدول الأوروبية ، وخاصة ألمانيا .

وفي ليبيا ، يوجد الهياتيت الذي يحوى نسبة عالية من السيليكا . ويقدر الخام المؤكد بحوالى ٣٩٠ مليون طن ، ولم يبدأ استغلاله بعد .

وفي جمهورية مصر العربية ، يوجد خام الحديد الهياتي القوسفوري بأسوان ، والذي

تتراوح نسبة الحديد فيه ما بين ٤٢ و ٤٦٪، ويستخدم حالياً في صناعة صلب توماس . كما يوجد خام الحديد الليبونيقي الهياتيقي بمنطقة الواحات البحرية ، ويحوى نسبة أعلى من الحديد ، من ٥٢ إلى ٥٥٪، وكذا نسباً أقل من السيليكا والفوسفور، غير أنه يحوى كلوريد الصوديوم وأكسيد التنجيز بنسبة عالية ، مما يستلزم معالجة الخام قبل استغلاله . أما المصدر الثالث في جمهورية مصر العربية ، فهو خام الماجنتيت الهياتيقي الموجود بوادى كرم غرب القصير ، وهو خام يحوى ٤٤٪ حديد ، غير أنه صلب للغاية ، وتحتاج عمليات استخراجها إلى معالجة خاصة ، بطبيعة تكوينه . فخام وادى كرم أقل الخامات المصرية قابلية للاختزال . وتقدر كميات الخام المؤكد في جمهورية مصر العربية ، بحوالى ٢٨٠ مليون طن .

ويوجد في المغرب حجر الحديد الأحمر الذى يحوى ٥٠٪ من الحديد ، ويقدر الاحتياطى المؤكد بحوالى ٧٠ مليون طن ، ويستغل الخام حالياً للتصدير .

ولقد تم اكتشاف كميات من خام الحديد بكل من السودان ، والمملكة العربية السعودية ، وهى حالياً قيد التقييم .

الخواص الفيزيائية والكيميائية لخامات الحديد

نظراً لطبيعة عمليات الفرن العالى ، وللعديد من التغيرات والمؤثرات التى تعرض لها المشحونات خلال هبوطها بالفرن ، فمن اللازم أن تتوافر للخامات المكونة للشحنة عامة ، ولخامات الحديد خاصة ، خواص فيزيائية وكيميائية معينة . تتلاءم مع متطلبات التشغيل . وتقاس هذه الخواص عادة بمؤشرات نلخصها فيما يلى :

(١) الخواص الفيزيائية :

١ - الصلابة : يتضح أثر هذه الخاصية في مرحلتى الاستخراج والصهر ، فالخامات الهشة الضعيفة ، وهى التى لا تحتاج عادة عند استخراجها بالمناجم إلى عمليات نصف مكثفة ، وتجمع مباشرة باستخدام الحفارات ، تكون نسبة الفاقد فيها ، خلال عمليات التنجيم ، أكبر بكثير عن الخامات الأكثر صلابة ، مما يرفع تكلفة إنتاج الوحدة منها . وبالإضافة إلى ذلك ، فإن هذه الخامات تنفتت بسهولة عند شحنها بالفرن ، مخلفة كميات من الأحجام الصغيرة ،

تعرض مسار الغازات الصاعدة، وتؤثر على سلامة التشغيل، وينتج ذلك التفتت، بسبب عدم قدرة هذه الخامات على تحمل الضغوط العالية، الناجمة عن شحنات الخامات التي تملؤها.

أما الخامات الصلبة، فتحتاج عادة إلى عمليات نسف بالمناجم، ثم عمليات تكسير وطحن للحصول على الأحجام المناسبة للاستغلال، مما يزيد من تكلفة إنتاجها وسعرها. هذا بالإضافة إلى تسببها في تفتت باقي مكونات شحنة الفرن، والأقل منها صلابة، خلال هبوط الشحنة بالفرن، واحتكاك هذه المكونات بعضها ببعض.

٢ - المسامية: وهي تحدد نسبة الفجوات أو الفراغات في داخل وحدة الخام الحجمية. وتنقسم هذه الفراغات إلى نوعين، المفتوحة منها، والمصمتة. وتقاس المسامية بطرق مختلفة، تحدد نسبة حجم النوع الأول منها فقط، إلى حجم القطعة تحت الاختبار. والفراغات المفتوحة تمثل الطريق الفعل الذي تسلكه الغازات المختزلة إلى ملامسة أسطح الخام، وبده التفاعل معه. أما الفجوات المصمتة، والتي لا يمكن قياسها، فتفتت مع تقدم عملية الاختزال وفي أثنائها، لتساعد في إتمام المراحل النهائية لها.

وعليه، تعتبر المسامية مؤشراً بالغ الأهمية في تقييم الخامات ومقارنتها بعضها مع بعض، فكلما زادت نسبتها، كلما ارتفعت قيمة الخام ومكانته، ويعد ذلك سبباً من أسباب تفصيل خامات الهياتيت والليمونيت على خامات المجنتيت.

والفراغات التي تحويها الخامات، تتفاوت في أحجامها من جزء من المليون إلى جزء من الملليمتر، ولهذا فهي ضئيلة جداً. إلا أن خروج المواد المتطايرة الموجودة بالخامات، نتيجة ارتفاع درجة حرارة الخامات عند مرورها بالمناطق العليا بالفرن، يزيد من حجم هذه الفراغات، ويولد مسارات تسمح بمرور الغازات بعدئذ وبسهولة.

٣ - تحمل الضغوط: تتعرض الخامات المشحونة بالفرن العالي - كما سبق الذكر - إلى العديد من التغيرات الكيميائية والفيزيائية خلال مراحل هبوطها. وحيث أن كل طبقة من الشحنات، تحمل الطبقات التي تملؤها، فمن المحتم أن تكون لهذه الخامات خاصية تحمل الضغوط عند درجات الحرارة العالية، مع الحفاظ على شكلها الخارجي، وخاصة خلال مراحل الاختزال الأولى. لذلك تعتبر هذه الخاصية هامة. وتعتبر قدرة الخامات على تحمل

الضغوط ، يتسخن قطعة من الخام لها شكل هندسي محدد ، ثم يقاس مدى تأثر أبعادها بضغط معين ، عند ارتفاع درجة حرارتها ، ويقارن الناتج الذى يتم الحصول عليه بنتائج نظية . ويبلغ ضغط الاختبار حوالى ٢ ضغط جوى ، وهو قيمة الضغط السائد تحت ظروف التشغيل بالفرن .

(ب) - الخواص الكيميائية :

يندر أن يوجد الخام فى الطبيعة بحالة نقية ، بل يحوى عادة مكونات أخرى تسمى الشوائب ، وهى التى تحدد نوعية الخام . فيذكر أن الخام حامضى ، أو قاعدى ، حسب زيادة نسبة المكونات الحامضية أو القاعدية فيه . ويقال إن الخام متعادل ، إذا تقاربت أو تساوت هذه المكونات .

وتوجد الشوائب فى صورة مركبات كيميائية ، مع مكونات مواد أخرى أهمها الأوكسجين والكربون ، ونسب أقل من الفوسفور والمنجنيز والكبريت ، ، بالإضافة إلى المواد الطينية ، والمكونات الأرضية ، مثل السيليكا والجير والألومينا وأكسيد المنجنيز . وقد تكون هذه الشوائب مرغوباً فيها أحياناً تحت ظروف معينة ، غير أنه عادة لا يستحب وجودها .

كذلك يوجد مع الخام ، بكميات أقل ، معادن الكروم ، والنيكل ، والقاناديوم ، والزنك والنحاس ، الخ . وتظهر أهمية الدور الذى تلعبه هذه المجموعة من المرافقات ، فى تأثيرها المباشر على جودة المنتج بعد عمليات الصهر . وكذلك فى تحديدها لطريقة معالجة هذا المعدن فى مراحل تحويله إلى صلب .

وعموماً يمكن تقسيم هذه الشوائب إلى قسمين :

١ - شوائب يمكن التخلص منها بنسب عالية أو كلية ، وتدخل فى مكونات الخبث الذى يصاحب عملية الصهر الأولية ، مثل السيليكا ، وأكسيد المنجنيز ، والألومينا ، والجير ، الخ .

٢ - شوائب يكون التخلص منها نسبياً ، ولا يمكن اقتصادياً التخلص منها نهائياً ، وهى الشوائب القابلة للتوبان فى الحديد فى درجة حرارة إنتاجية ، مثل الكبريت ، والكربون ، والمنجنيز ، والفوسفور ، والكروم ، والقاناديوم ، والسيليكون الناتج عن اختزال جزء من السيليكا ، الخ .

ويعتبر الكبريت ونسبته بالخام، من أهم مؤشرات تقييم الخامات وتحديد جودتها، نظراً لتأثيره الضار على خواص الصلب الناتج، حيث ينجم عن وجوده أن يكون المعدن هشاً في درجات الحرارة العالية، الأمر الذي يسبب حدوث تشققات بالمعدن عند طرقه، أو عند معالجته حرارياً. ولهذا، فإن المسير استخدام الخامات التي تحوى أكثر من ٠,١٪ من الكبريت، وهو الأمر الذى يسبب الابتعاد عن استغلال مناطق كبيرة من خام بيريت الحديد (ح ك ب).

وهذا السبب نفسه، يدفع جميع العاملين في صناعة الحديد والصلب، إلى تحاشي استخدام الكوك العالي النسبة من الكبريت. ومن مسببات عدم الرغبة في الكبريت كذلك صعوبة التخلص منه، وارتفاع النفقات اللازمة لذلك.

أما الفوسفور، والذي يمكن التخلص منه، فوجوده بالمعدن غير مرغوب فيه عادة، لأنه يقلل تحمل المعدن للإجهادات أو للتحميل (الضغط). لكن وجود الفوسفور بالمعدن محبب في عمليات السباكة، لمساعدته على احتفاظ المعدن بدرجة عالية من السيولة والانسائية. وتستخدم الخامات التي تحوى الفوسفور بنسبة تصل حتى ١,٥٪، في صناعة الصلب القاعدى أو صلب توماس.

من ذلك يتضح أن نسبة الفوسفور، تحدد طريقة تنقية الحديد الخام الذى يحتويه. وعليه فالخامات التي تحوى نسباً أقل من اللازم لإنتاج صلب توماس، وأعلى من المطلوب لإنتاج الصلب بالطريقة الحامضية، تشكل في الواقع عبئاً على عمليات التنقية، وبذلك تقلل من قيمة الخامات عند تقييمه.

أما العناصر الأخرى كالمنجنيز، والكروم، والفاناديوم، والنيكل، والكوبالت، وغيرها، فهي عناصر مرغوب فيها، بشرط وجودها بنسب محددة، ذلك لأنها تساعد على تحسين خواص المعدن، وخاصة المنجنيز الذى يساعد على التخلص من الكبريت، غير أن زيادتها عن النسب المحددة، يشكل مصاعب في تشغيل خاماتها.

ويرجع الاهتمام بالشوائب الأخرى التي تصاحب الخامات، وتكون في إجمالها الخبث الذى ينتج في عمليات الصهر، إلى تأثيرها المباشر على نوعية الحديد الزهر المنتج في مرحلة الصهر الأولى، وذلك أن جزءاً من السيليكا الموجود بالشحنة، يمكن اختزاله تحت ظروف

الصهر هذه ، ويكون السيليكون الناتج جزءاً من شوائب المعدن المنتج . وحق يمكن التحكم في هذه النسبة ، يلجأ العاملون في صناعة الحديد والصلب إلى « معادلة الخبث » ، بمعنى الوصول إلى تحليل تتساوى فيه مكونات الخبث الحامضية ، وهي السيليكا والألومينا ، مع المكونات القاعدية ، وهي الجير والمغنيسيا . ومع ذلك يراعى وجود زيادة طفيفة للنسق القاعدى ، حتى يمكن التخلص من جزء من الكبريت الحامضى ، والحصول على جزء من المنجنيز القاعدى في المعدن .

ولما كانت عملية تكوين الخبث وإسائه تستهلك كميات كبيرة من الوقود ، فمن الواضح أنه كلما قلت كمية الخبث المنتجة ، وبالتالي كمية الشوائب المكونة أصلاً لهذا الخبث ، كلما تحسنت اقتصاديات الإنتاج ، ويسهل التحكم في جودة المعدن المنتج .

تركز الحديث فيما سبق عن آثار الشوائب على جودة المعدن المنتج ، إلا أن هناك شوائب أخرى توجد بال خامات ، لها تأثير لا يقل أهمية ، على العمليات التكنولوجية ، مثل الرصاص ، والتيتانيوم ، والزنك ، وألها تأثير على المعدات والبطانات الحرارية للأفران مثل القلوبات . وطبيعى أن وجود أى منها بأى خام ، يقلل من قيمته ، وقد يسبب عدم استخدامه نهائياً .

يتضح مما سبق ، أنه عند تقييم خامات الحديد ، فليست نسبة المعدن فيه - رغم أهميتها - هى التى تلعب الدور الأساسى ، ولكن الخواص الفيزيائية للخامات ، ونسب مكونات الخبث بها ، ونسب العناصر الأخرى السابق ذكرها ، هى التى لها الأهمية الأولى . ولذلك فقد يحدث أن تستورد بعض دول العالم ، التى تمتلك خامات الحديد الجيدة ، أنواعاً من الخامات الأقل جودة ، لعمل خلطات للأفران العالية ، تحقق أهدافاً اقتصادية وفنية ، وتضمن إنتاجاً من الحديد الزهر أفضل جودة ، وأقل تكلفة . ومن الطبيعى أن يحدث عكس ذلك أيضاً ، بمعنى استيراد بعض الدول للخامات الجيدة التى لا تتوفر بها ، لتحقيق نفس الأهداف الاقتصادية في التشغيل .

تجهيز خامات الحديد

نتيجة للتطور التكنولوجى لوسائل الإنتاج ، ونتيجة للدراسات العلمية الميدانية عن عناصر التكلفة الإنتاجية ، ثم تحليل هذه النتائج ، ونتيجة للتعاون بين خبراء الصناعة والاقتصاد ، أصبح من الحقائق الثابتة ، أن كل العمليات التجهيزية التى تجرى مقدماً على خامات تشغيل الوحدات الميتالورجية ، تعود بالفائدة على المراحل التالية فى خط الإنتاج ، بحيث أصبح العائد يغطى مصروفات مراحل التجهيز ، ويتحقق ربحاً إضافياً .

وتهدف عمليات التجهيز عادة إلى تحقيق مايل :

- (١) تحسين الخواص الفيزيكية والميكانيكية للخامات ، مع الاستفادة من المخلفات التى تحوى المعدن ، والناجثة من مختلف عمليات الإنتاج أو التصنيع ، وذلك للحصول على التجانس والحجم المناسب للزمن لشحن الفرن العالى .
- (٢) تحسين الخواص الكيميائية ، ورفع نسبة المعدن فى خاماته ، وإزالة أكبر نسبة من مكونات الخبث والعناصر غير المرغوب فيها .

(١) إعداد الخام لتحسين خواصه الفيزيكية والميكانيكية

تتلخص مراحل هذا الإعداد فيما يلى :

أولاً : عمليات التجنيس .

ثانياً : عمليات التكسير .

ثالثاً : عمليات الطحن .

رابعاً : عمليات تجميع النواعم .

وفى يلى نقدم شرحاً مبسطاً لكل منها .

أولاً : عمليات التجنيس :

يقصد بعمليات التجنيس ، كل عمليات مزج وخلط للخامات المختلفة ، بفرض الإقلال من التفاوت فى خواصها الفيزيكية والكيميائية . وهذا المفهوم البسيط ، نلاحظ أن هذه العملية تتكرر مع تعدد مراحل معالجة الخامات ، فتم فى أحواش خامات التصدير بالناجم ، وفى خلال عمليات نقل الخامات من المناجم إلى الكسارات ثم إلى المصانع ، وكما تجرى خلال عمليات التكسير والتشوين بالناجم أو بالمصانع . وتعتبر عملية التجنيس ، التى تتم

في أحواش تشوين الخامات بالمصانع ، أهم هذه جميعها ، حيث تؤدي طبقا لنظام محدد ودقيق ، وفيما يلي شرح موجز لهذه العملية :

يوصول الخامات إلى المصانع ، غالبا في عربات السكك الحديدية ، يبدأ تفريغ هذه العربات بواسطة مكتة خاصة ، لتشون في بناكر ملحقة ، ينقل الخام منها بواسطة السيور إلى عربة التجنيس . تتحرك هذه على قضبان حديدية ذهابا وعودة ، من أحد طرفي حوش التشوين إلى الطرف الآخر ، كما تتحرك أذرعها الجانبية إلى مسافات عرضية مختلفة عمودية على مسار العربة ، وهي في حركتها هذه تنشر الخامات في طبقات يعلو بعضها بعضا وغلا حيز التشوين في الحوش ، في شكل هرمي متناسق . فإذا سحب الخام - المشون بهذه الكيفية - في طبقات بمساحة مقطع التشوين العمودي على طول الكوم ، أمكن الحصول على خام متكامل التجنيس ، وأقرب ما يكون إلى تمثيل شحنة التشوين كيميائيا وفيزيقيًا . ويتم سحب الخام باستخدام عربة خاصة تسمى عربة سحب الخام الجبس . والتي يتحرك ذراعها الشبكى حركة دورانية متردة ، ملامسا لسطح الخام بمساحة مقطعه العمودي على طوله ، فيتجمع الخام على سير معدني ، ينقل منه إلى سيور الوحدات التالية ، أي إما إلى صوامع الأفران في حالة استخدام هذه الأفران للغام مباشرة ، وإما إلى كسارات التليد إذا كانت الأفران تستخدم للبيد . وفي الحالة الثانية تتكرر عملية التجنيس مع توالى مراجع التكسير والطحن والتشوين والتجهيز في أسطوانات الخلط . وعموما يفضل العاملون بصناعة الحديد والصلب إجراء عمليات التجنيس للخامات المستخدمة كلما سنحت الظروف التكنولوجية بذلك .

ثانياً : عمليات التكسير :

وهذه أولى عمليات تجري على الخام بعد استخراجها بصفة عامة . ذلك أن أحجام الخام الناتج ، تكون في العادة كبيرة لاتناسب عمليات الصهر ، وعليه تجري عملية التكسير هذه بهدف الوصول إلى الحجم الملائم ، هذا إذا كانت الخامات المتعامل معها متناسقة التركيب ، أو غنية بالمعدن ، أما إذا كانت هذه الخامات تحوى شوائب ضارة ، أو غير متجانسة ، فيتم تكسيرها بهدف آخر ، هو إعدادها لعمليات التركيز والتجهيز التالية .

وعموماً ، سواء كان الهدف هذا أو ذاك ، فإن المهم تكسير الحام الناتج من المناجم .
وتجرى العملية على مرحلتين :

(١) التكسير المبدئي أو الأولي .

(٢) التكسير النهائي .

وهذا التقسيم تستوجه عوامل تكنولوجية واقتصادية عديدة ، منها استحالة الحصول على الأحجام المناسبة من الحام ، سواء لعمليات الصهر ، أو لعمليات التركيز من المناجم مباشرة ، وإلا كان ذلك سبباً في زيادة تكاليف الاستخراج ، بسبب ما يستتبعه من فقد للحام الناعم الناتج ، وزيادة في نفقات النقل والتشوين . ومن الناحية التكنولوجية ، يتيح هذا التقسيم ، فرصة أمثل للهيمنة على مواصفات المنتج ، وتتبعها مرحلة بمرحلة ، كما يوفر مرونة ودقة في تصميم وتشغيل وصيانة المعدات المستخدمة ، ذلك أن هذه المعدات تصبح في هذه الحالة « معدات مرحلية » ، أى مجهزة لإجراء مرحلة معينة ، تتعامل فيها مع مواصفات محددة للحام ، ولتنتج منتجاً بمحدد المواصفات أيضاً .
وفيما يلي نتعرض بالشرح لكل مرحلة على حدة .

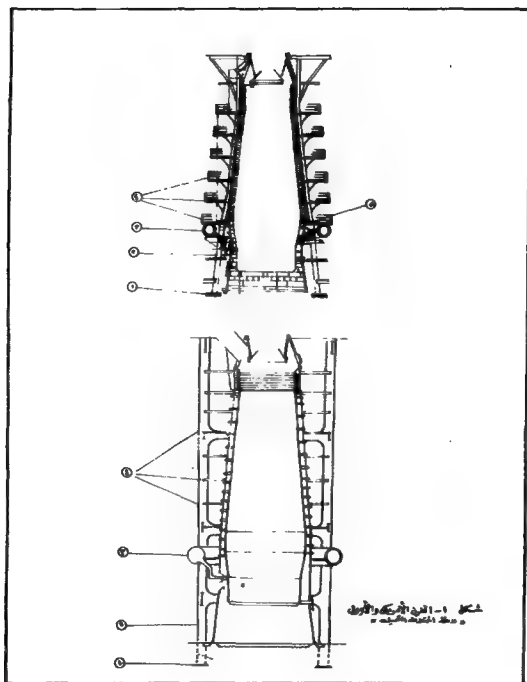
(١) التكسير المبدئي ، وأهم المعدات المستخدمة فيه :

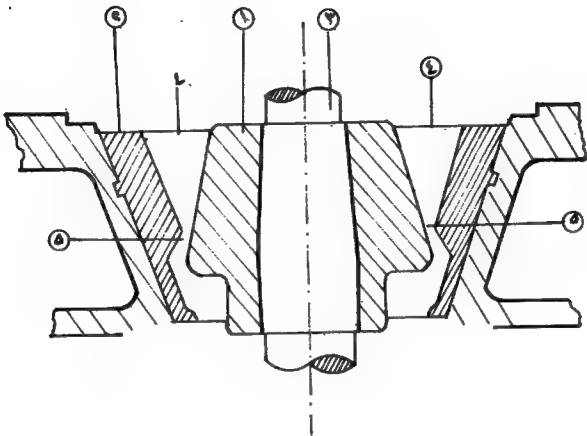
ترد الخامات عادة من مناجمها ، في أحجام غير متناقسة ، تتراوح مقاييسها ما بين ١٠ و ١٥٠ سم . وتفرغ هذه الخامات على شبك يعلو صوامع التخزين ، ويسمح بمرور أحجام معينة منها ، تمثل في العادة أكبر ما يمكن لمعدات التكسير استقباله . أما الأحجام الأكبر عن المسموح به ، فتحتمل حيث يتم تكسيرها يدوياً أو باستخدام المقرقات . وتسحب الخامات المشونة في صوامع التشوين ، بعد ذلك ، عن طريق سيور ناقلة إلى صوامع أخرى ، تعلو طواحين التكسير وتغذيها بها ، حسب احتياجاتها ، وقدراتها الإنتاجية . وأهم أنواع الكسارات التي تستخدم في هذه المرحلة هي :

(أ) الكسارات الفككية .

(ب) الكسارات المخروطية .

(ج) الكسارات الأسطوانية .





شكل ٢- الكسارة المخروطية

(١) الكسارات الفكية (الشكل ١) :

وهي تستقبل الحامات في مكان مخروطي الشكل . بين فكي الطحن الثابت والمتحرك . والفك الثابت مثبت في جسم الكسارة ويكون جزءاً منه . أما الفك المتحرك ، فيعمل كجزء مستقل تشده إليها مجموعة من الشدادات واليايات القوية . وتحدد بالتالي مقاس فتحة الكسارة . وبالتالي تحدد مقاس حجم الحام المنتج . وتولد حركة هذا الفك عن كامة (لامركزية) تحركها حداغات أو موتورات كهربائية . وبذلك تتسع المسافة بين الفكين أو تقل ، حسب حركة الكامة ، وموضع الفك المتحرك ، وينشأ عن ذلك تكسير قطع الحام نتيجة الضغط المسلط عليها إلى أحجام أقل ، عندما تصغر المسافة بينها . ثم يرفع ذلك الضغط بزيادة بعد الفكين عن بعضها بعضاً ، يسمح للأحجام الصغيرة الناتجة بالهبوط إلى أسفل ، واستقبال المزيد من الحام من أعلى الشروط . وعليه يتضح أن تكسر الحام بهذه الكيفية ، يحدث نتيجة ضغط الفك المتحرك من ناحية ، ونتيجة ضغط قطع الحام بعضها بعضاً ، نتيجة تناقص الحيز الذي تشغله عند تقارب الفكين من ناحية أخرى .

(ب) الكسارات المخروطية (الشكل ٢) :

وهي تشبه في أداؤها الكسارات الفكية ، حيث ينتج عن حركة الشروط غير المركزية ، ضيق الحيز المخروطي بينه وبين الفك الدائري الثابت . (الشكل ٢) . ويستعمل النوعان المذكوران في حالة الحامات الصلبة ، أو الحامات التي لا تتفتت بسهولة ، حيث أن عملية تكسير الحامات بالاحتكاك فيما بينها ، تخلف كميات كبيرة من النواعم ، والتالي فهي لا تصلح مع الحامات اللزجة ، وهي الحامات التي تعالج بنوع آخر من الكسارات هي الكسارات الأسطوانية .

(ج) الكسارات الأسطوانية :

وتتكون من أسطوانتين تدوران في اتجاهين متضادين حول محوريها ، وتثبت كل منها إلى مكانها بشدائد يحفظ المسافة بين الأسطوانتين بالقدر المطلوب ، ويعمل كصمام أمان عند معالجة قطع الحام الصلبة ، حيث يقلل من تآكل سطح الأسطوانة . ويحدث التكسير نتيجة سحب الحام إلى حيز ضيق ، خلال الحركة الدورانية للأسطوانتين ، فيضغطه الحام بعضه بعضاً ، وتضغط سلوح الأسطوانتين على الجزء الملامس لها ويتم التكسير . وحيث أن ضغط الحام بعضه بعضاً أقل منه في حالات النوعين السابقين ، فإن كمية الحامات الناعمة ،

المولدة في هذه الحالة، تصبح أقل منها عن حالة سابقتها .
وفي مجال المقارنة بين النوعين الأولين ، يتضح أن الكسارات الفكية ، تتميز بسهولة صيانتها ، وبمقدرتها على التعامل مع الأحجام الكبيرة حتى ١٩٠ سم . بينما تتميز الكسارات اللامركزية بانتاجها الكبير . وعليه ، فإذا كان الإنتاج المطلوب كبيراً ، تستخدم الطواحين الفكية للتعامل مع الأحجام الكبيرة التي تنفصل على مناخل الكسارات اللامركزية ، ثم يرسل ناتج التكسير - كبير الحجم نسبياً - إلى الكسارات اللامركزية ، ليعاد تكسيه للحجم المطلوب .

٢ - التكسير النهائي :

تتولد عن عمليات التكسير الابتدائي ، وخاصة في حالة معالجة الخامات الصلبة الصعبة التكسير ، أحجام قد تزيد على ٥ إلى ٨ سم . وهذه الأحجام وإن كانت تصلح لعمليات الصهر في حالة الخامات الغنية ، إلا أنها لا تصلح في حالة الخامات الفقيرة ، التي تحتاج إلى المزيد من عمليات التجهيز ، ذلك أن عمليات التجهيز هذه ، تستهدف الوصول إلى أمثل حجم يمكن من التخلص من الشوائب ، وخاصة مركبات الخبث ، بأقل تكاليف وبأفضل النتائج . وعليه فكلما حالتين تحتم إعادة تكسير ناتج التكسير المبدئي ، وهذا مايسمى بالتكسير النهائي .

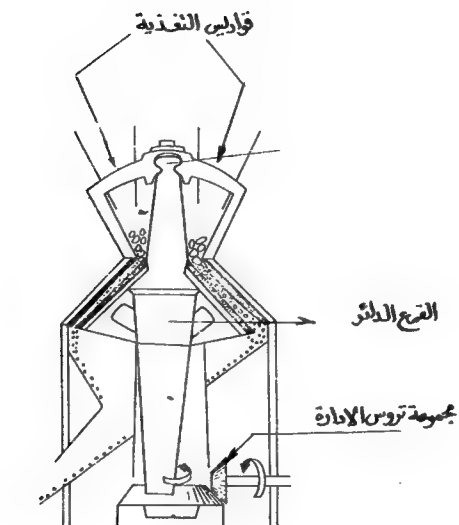
وتستخدم في عمليات التكسير النهائي ، مجموعة من الكسارات ، تختلف عن سابقتها في التصميم ، حيث أن طبيعة العمل وحجم الخام الداخل والخارج أقل بكثير منه في الحالة السابقة ، وأهم أنواع الكسارات المستخدمة في التكسير النهائي هي :

(أ) الكسارات المفروطة .

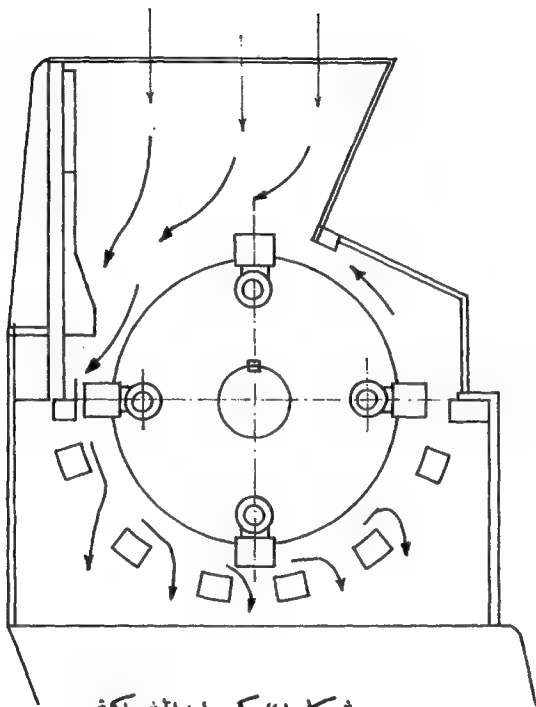
(ب) كسارات الشواكيش .

(ج) الكسارات الأسطوانية .

والكسارات المفروطة والأسطوانية ، تماثل تلك التي سبق ذكرها من حيث الشكل وإدارة العمل ، وأما كسارة الشواكيش ، (الشكل ٤) ، فهي عبارة عن مجموعة من الشواكيش المركبة على أسطوانة تدور ، وبالتالي تكتسب الشواكيش سرعة تؤدي إلى قطع الخام عند اصطدامها به ، وتسير الكسارات المفروطة أكثر هذه الأنواع انتشاراً واستخداماً .



شكل رقم ٣ الكساره المخروطية



شكل (٤) - كسارة الشواكش

ثانياً - عمليات الطحن :

تنتج عن عمليات التكسير السابق ذكرها ، كميات من الخام ذات أحجام أقل من الأحجام المطلوبة في عمليات الصهر اللاحقة ، وهى تمثل نسبة عالية تؤثر في اقتصاديات الناجم ، لذا يتم تجميعها ودمجها صناعياً في أحجام تتناسب وعمليات الصهر ، كما هو متبع في عمليات التكوير ، التحييب ، والتطويب ، والتلييد ، وغيرها من العمليات الصناعية ، التى تعتمد على ربط حبيبات الخام الناعمة بعضها ببعض ، باستخدام مواد رابطة . ولقد أوضحت الأبحاث العلمية أن هناك حجماً أمثل لحبيبات الخام ، يؤثر تأثيراً مباشراً على جودة الخليط الصناعى المنتج وخواصه ، ولذلك فمن اللازم أن تجرى عمليات طحن لهذه الخامات ، بهدف الحصول منها على هذه الأحجام . وبالإضافة إلى ذلك ، فإن غالبية عمليات تركيز الخام التى تعتمد أساساً على فصل الشوائب فيه مثل الفصل المغناطيسى ، وعمليات التعويم وغيرها ، تتطلب في بعض الأحيان أحجاماً غاية في الدقة ، حتى يمكن الاستفادة من التفاوت في الخواص الفيزيائية كالوزن ، والمغنطة ، واللويان ، إلخ . في عمليات الفصل بين المعدن والشوائب مما يستلزم طحنها طحناً دقيقاً .

وتستخدم في عمليات الطحن الدقيق مجموعة من الطواحين أهمها :

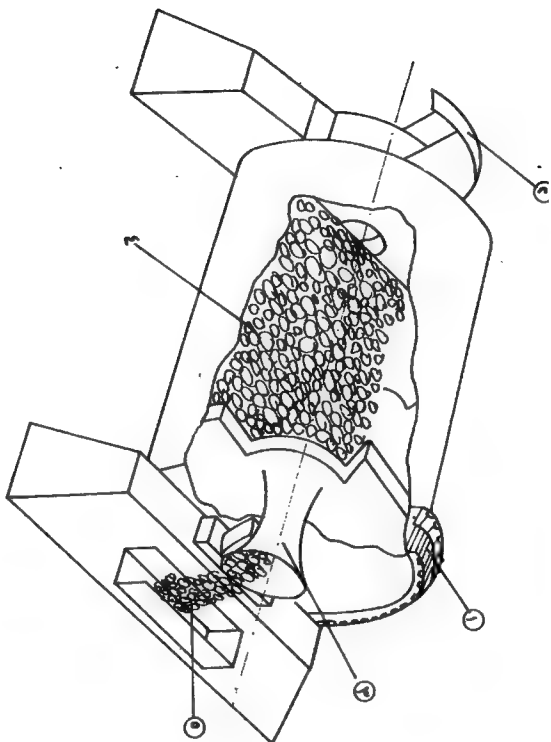
(أ) طاحونة القضبان .

(ب) طاحونة الكرات .

(ج) طاحونة المواسير .

وأهمها وأوسعها انتشاراً ، طواحين الكرات ، وطواحين القضبان . وتتكون الطاحونة من أسطوانة من الصلب تدور حول محورها ، وتكون إما مخروطية في نهايتها ، وذلك عند استخدام المياه لحمل ناتج الطحن ، أو تميل على الأفق بزاوية ٣٠° . ويتدافع الخام منها نتيجة الحركة الدورانية تجاه نهايتها ، حيث يوجد منخل يسمح بمرور الأحجام المطلوبة . أما مايزيد عنها ، فيعود ثانية إلى الطاحونة في دائرة مغلقة ليماد طحنه . ويحدث الطحن نتيجة الحنطات التى تسببها القضبان أو الكرات للخام المشحون ، بالإضافة إلى احتكاك الخام بعضه ببعض .

وتظل القضبان أو الكرات ملاصقة لسطح الأسطوانة الداخلى حتى الارتفاع الذى تتغلب فيه الجاذبية الأرضية على الزرعة الدورانية التى يكتسبها القضيب أو الكرة ، نتيجة



شكل ٥ - طاحونة الكرات

دوران الأسطوانة فتسقط . لذلك يجب ألا تزيد السرعة على القيمة التي تسمح بذلك ، أي تتحاشى الوصول إلى السرعة التي يصبح عندها القضيب أو البكرة جزءا متحركا لا ينفصل عن الأسطوانة ، وهي التي تسمى « السرعة الحرجة » ، وعندها يصبح عدد لفات الأسطوانة حسب المعادلة التالية :

حيث :

ن ، عدد لفات الأسطوانة في الدقيقة ،

ق ، قطر الأسطوانة بالسنتيمترات .

وتستعمل طاحونة الكرات في الحالات التي تتطلب أحجاما صغيرة من الخام ، بينما تستعمل طاحونة القضبان للحصول على أحجام أكبر ، وإنتاجيتها أكبر من طاحونة الكرات بالنسبة لحجم معين من الخام .

ثالثا - عمليات تجميع نواعم الخام :

تنتج عن عمليات طحن الخام أو عمليات التركيز التي سنذكرها فيما بعد ، كذلك تتولد عن عمليات تنظيف غازات الأفران العالية ، كميات هائلة من الخام الناعم ، الذي لا يمكن استخدامه في الأفران العالية مباشرة ، ولكن لا يمكن إهمالها اقتصاديا ، ولذلك تخضع هذه الأحجام للمعالجة ، بغرض ربط وتجميع حبيباتها في أحجام أكبر ، تكون متاسكة ومتجانسة ، ولها الخواص اللازمة للخامات المشحونة بالأفران العالية .

وتجميع هذه الخامات الناعمة وربطها بعضها ببعض ، إما أن يكون نتيجة إضافة مواد رابطة ، دون أن تتعرض الخامات الناعمة ذاتها للانصهار ، وإما أن تنصهر هذه جزئيا بالحرارة ، فتتربط معا نتيجة ذلك ، دون إضافة لمواد رابطة . ومن النوع الأول طرق التطويب ، والتكوير ، والتحييب . ومن طرق النوع الثاني عمليات التلييد . وفيما يلي شرح موجز لهذه الطرق .

١ - التطويب :

في هذه العملية ، تخلط الخامات الناعمة مع المواد الرابطة في أسطوانات خلط دورانية ، مع إضافة نسبة محدودة من الماء لتطويب الخليط . ثم يشكل الخليط بالضغط في مكابس هيدروليكية أو ميكانيكية إلى الأحجام المطلوبة . وتترك القوالب المنتجة بعد ذلك فترة من

الزمن حتى تناسك ، بعدها تنحرف في أفران تجفيف (درجة حرارتها لا تتعدى ١٥٠° مئوية) ، أو تترك في الهواء حتى تجف . وتمتاز القوالب الناتجة بالتماسك المتين ، وبالمقاومة الكبيرة للضغط والاحتكاك .

والمواد الرابطة المستخدمة في هذه الحالة ، هي عادة الأسمنت ، أو الطين الحراري ، أو القطران ، أو الجير . يستخدم الجير بصفة خاصة مع الخامات التي تحوى نسبة عالية من السيليكا .

٢ - التكوير :

يشحن الخليط المرطب من الخام والمواد الرابطة بعد تقطيعه إلى قطع صغيرة ، مع الفحم الناعم جداً ، في أسطوانات دورانية أفقية ، حيث تتحول القطع الصغيرة إلى كرات يغطي سطحها الخارجى بالفحم الناعم جداً ، لإكسابها الصلابة المطلوبة ، ثم يترك الناتج ليحفظ . وهذه الطريقة حديثة الاستخدام نسبياً ، ولكنها تنتشر بسرعة في أمريكا ، واليابان ، والاتحاد السوفيتى .

٣ - التحييب :

تجرى هذه الطريقة في أفران دورانية عالية الحرارة ، وتشبه إلى حد كبير عملية التكوير ، وإن كانتا تختلفان في طبيعة المادة الرابطة ، والمادة الرابطة في حالة التحييب هي (المعجون) الناتج عن عملية تسخين الخام إلى درجة حرارة قريبة من نقطة انصهاره . وقد يضاف القطران أحياناً بنسب صغيرة ، ليكون بمثابة نواة لتجميع الحبيبات حوله ، ثم يتطاير بارتفاع درجة حرارة الفرن .

وتحتاج هذه الطريقة إلى دقة بالغة ، حيث يلزم تسخين الخام إلى درجة الحرارة التي تبدأ عندها ميوعته أو طراوته ، دون أن ينصهر . ويكون الناتج عادة غير مسامى ، مما يصعب معه استغلاله في الفرن العالى ، خاصة وأن التحكم في أحجام المنتج لا يزال يسبب الكثير من المتاعب .

٤ - التليد :

هو إحدى عمليات تجميع نواعم الخامات ليعاد تسخينها بالفرن العالى . وهي تعتمد على ربط حبيبات هذه الخامات بعضها ببعض ، برفع درجة حرارتها إلى مايقرب من نقطة انصهارها ، وذلك عن طريق احتراق كميات الفحم الناعم التي تضاف إلى هذه الخامات .

ونتيجة لذلك تتكون سيليكات المعلن ، ودرجة حرارة انصهارها منخفضة نسبياً ، وهي التي تقوم بدور ربط الحبيبات مع بعضها بعضاً . وبالإضافة إلى ذلك ، تتكون مجموعات أخرى من المركبات الكيميائية ، تلعب دوراً رئيسياً في الربط بين الحبيبات .

ونظراً لارتفاع درجة الحرارة اللازمة للعملية فإن عملية التلييد يمكن اعتبارها إحدى عمليات التخميص . ذلك لأن خامات السيدريت والكبريتيدات ، تتخلص من غاز ثاني أكسيد الكربون ، ويحترق الكبريت فيها تباعاً خلال عملية تلييدها .

وتتكون وحدة تلييد الخامات ، من مجموعة من العناصر يختص كل منها بعملية محددة تتم داخلها ، وتكون فيما بينها خط الإنتاج المتكامل .

(١) عنبر الاستقبال : هو المكان الذي تستقبل فيه الخامات التي تستخدم في الوحدة ، وهي خامات الحديد أو مركباتها ، والفحم الناعم ، والحجر الجيري أو الجير ، الدولوميت ، وقشور الدرفلة ، وبيريت الحديد ، وأتربة غازات الأفران العالية . ويتكون العنبر من مجموعة من الصوامع ، يحدد توزيعها وتقسيمها على الخامات حسب الكميات المطلوبة من كل منها ، وتسحب الخامات منها بعدئذ إلى عنبر الشحن ، أو إلى حوض تشحين الوحدة حسب الحاجة .

(٢) عنبر الشحن : ويتكون من مجموعة من الصوامع ، كل منها مجهز بميزان هزاز في أسفلها ، يتحكم في كميات الخامات المسحوبة منه تباعاً ، وفقاً للحسابات المحددة للشحنة ، بمعنى أن الشحنة على السير الناقل المائل أفقياً أسفل هذه المجموعة من الصوامع ، تكون من طبقات من الخامات يعلو بعضها بعضاً . وعلى سبيل المثال ، قد تتوالى الطبقات على النحو الآتي :

خام الحديد - رماد البيريت - تراب الغازات - قشور الدرفلة - الحجر الجيري - فحم الكوك . ثم ناتج مروفات المياه ، ويجرى تغذية هذه الصوامع بالخامات باستخدام عربات توزيع خاصة .

(٣) عنبر الخلط :

تقلب الخامات من عنبر الشحن ، عن طريق السير المار أسفل الصوامع إلى عنبر الخلط ، الذي يحوي مجموعة من الصوامع لاستقبال الشحنة المذكورة ، وبحسب ذلك صوامع استقبال راجع التلييد البارد - وهو اللبيد ذو الأحجام الأقل من المطلوب للأفران

العالية ، والناتج عن عملية نخل اللبيدات ، ثم صوامع راجع اللبيد الساخن الناتج على عملية النخل قبل المبرد ، والتي تحوى أحيانا بعض الحامات التي لم يتم تلييدها ، وذلك بالإضافة إلى الأتربة الجمعة على ماسورة السحب .

وتوجد بالعنبر أيضا أسطوانة الخلط ، وهي أسطوانة مائلة على الأفق بمقدار ٢٥ درجة ، تلف حول محورها الأفقي بسرعات متتعة تتراوح ما بين ٤ ، ١٠ لفات في الدقيقة . وبها مجموعة من الرشاشات ، لتوصيل المياه اللازمة لترطيب الشحنة . وتغذى الأسطوانة عند أحد طرفيها ، بالشحنة مضافا إليها نسبة محسوبة من راجع اللبيد البارد والساخن ، حيث تعمل البريمة الأسطوانية الموجودة داخل الأسطوانة على تثقيب الشحنة ، وبالتالي تجنيسها وتكويرها . وتخرج من الطرف الآخر للأسطوانة ، الشحنة المتجانسة . وتراوح القدرات الإنتاجية لأسطوانة الخلط من ١٢٠ إلى ١٨٠ طن / ساعة .

(٤) عنبر مكثة التلييد :

وهنا يتم تحويل خليط شحنة الحام واللبيد المرتج المتجانس والمخلوط بعنبر الخلط إلى لبيد متماسك صالح للاستخدام في الأفران العالية ، ويمحى العنبر صومعة استقبال للشحنة ، وأسطوانة خلط أخرى ، الغرض منها إعادة تجنيس الشحنة وتكويرها مع ضبط كمية الرطوبة اللازمة للشحنة قبل عملية تلييدها (١٢٪ تقريبا) . كذلك يحوى العنبر مفذى يندولى لتوزيع الشحنة في طبقات متتلة بعرض حصرية المكثة ، وكذلك يوجد فرن الإشعال .

ولكن أهم محتويات هذا العنبر ، هي مكثة التلييد ذاتها . وهي عبارة عن مجموعة عربات متحركة على سير لانهائى شكل ١٥ ، مركب بها مجموعة من القضبان (الباطات) ، ذات شكل معين ، تكون فيما بينها ما يشبه الحصرية ، ولذلك تسمى حصرية التلييد ، بينها فراغات تسمح بسحب الهواء خلال شحنة الحامات المطلوب تلييدها والتي تطوها . لذلك يجرى نخل الشحنة الخارجة من أسطوانة الخلط الثانوى ، وتجميع الأحجام الكبيرة منها نسيما ، حيث تفرس على سطح حصرية التلييد قبل إضافة الشحنة بأحجامها الناعمة ، وتتخلص فائدة هذه الطبقة من الأحجام الكبيرة ، في منحها للأحجام الصغيرة من المهبوط بين فتحات الباطات عند سحب الهواء ، وكذلك لتخفيف أثر زيادة رطوبة الغازات الخارجة في نهاية عملية التلييد ، لتعائى تكوين طبقة طينية تغلق الفجوات بين الباطات ، تصاوم عملية

سحب الهواء خلال الشحنة. ويوجد تحت حصرية المكثة، عدد من غرف سحب الهواء كل منها مزودة بيلف اختناق متصل بمروحة سحب الغازات العادية. وتوجد في العنبر أيضا كسارة اللييد المركبة في نهاية المكثة لتكسير كتل اللييد إلى الأحجام المناسبة. وتيجها منخل اللييد الساخن الذي يستقبله قبل شحنه بالمبرد لفصل الأحجام الصغيرة منه (أقل من ٥ إلى ٨ مم)، وذلك لرفع كفاءة التبريد للمبرد. ويتهى عنبر المكثة بمرر اللييد الذى يستخدم لحفض درجة حرارة اللييد (٦٥٠ م - ٧٠٠ م) إلى حوالى ٦٠٠ م، باستخدام مروحة لسحب الهواء الجوى خلال شحنة المبرد، ليكن نقل اللييد باستخدام سيور الكاوتشوك الناقلة، دون تعرضها للاحتراق.

وتجهز وحدة التلييد عادة بمجموعات من أجهزة التحكم الآلى، والأوناش، ومحطات التشحيم، ومحطات ظلمبات، ومحطات تكييف الهواء، وسحب الأتربة الناعمة من محيط العمل، بالإضافة إلى ورش كاملة الأعداد للميكانيكا، والكهرباء، والأجهزة.

شرح عملية التلييد:

بعد فرش طبقة الخامات وراجع اللييد المشنة على الحصرية، تضاف عن طريق المغذى البندولى، شحنة اللييد المتجانسة، ويسوى سطحها بواسطة أسطوانة دورانية، ثم بعد ذلك تحت قرن اشعال مكثة التلييد. وهو عبارة عن قرن إشعال مبطن بالطوب الحرارى به مجموعة من الرشاشات التى تعمل بالمزوت، وعليه تشتعل المواد القابلة للإشتعال على سطح الشحنة (الكوك)، ويسحب الهواء خلال غرف السحب، فترتفع درجة حرارة الشحنة، وتنتقل منطقة الاحتراق تدريجيا إلى أسفل تصحبها مجموعة من التغيرات الفيزيكية والكيميائية التى ينجم عنها اللييد مهدئ. ولايضاح مايحدث، يمكن تصور أن هذه التفاعلات تتم في طبقات منفصلة كل منها عن الأخرى، وتندرج من أسفل إلى أعلى، حسب الترتيب التالى (شكل ٦).

- ١ - طبقة من الشحنة الأصلية، وهى لم تتعرض للتغيرات بعد.
- ٢ - الطبقة الطينية، وهى طبقة الشحنة الباردة التى تكثف على سطحها بخار الماء المتصاعد من مناطق الاشتعال والتفاعلات التى تملوها، وبالتالي كونت مع حبيبات الشحنة مايشبه الطين.
- ٣ - الطبقة الجففة، وهى الطبقة الموجودة تحت منطقة الاشتعال مباشرة في اتجاه السحب، والتى تنهيب الغازات الناتجة من المنطقة التى تملوها في تجفيفها وإعدادها.

٤ - منطقة الاشتعال ، وهي المنطقة المحيطة التي ارتفعت درجة حرارة مكوناتها تدريجياً نتيجة مرور الغازات الساخنة الناتجة عن التفاعلات والاشتعال بالمناطق التي تلوها ، حتى بلغت درجة حرارة الوقود الموجود بالشحنة ، درجة حرارة الاشتعال ، فبدأ يشتعل . وفي جميع المراحل التي سبق ذكرها ، تكون الغازات الناتجة ذات طبيعة اختزالية ، بمعنى أن أكاسيد الشحنة تتعرض للاختزال النسبي بمرور هذه الغازات خلالها ، ولو أن درجة الحرارة المنخفضة لاتساعد على ذلك كثيراً .

٥ - منطقة الأكسدة ، بانتهاء عملية الاشتعال ، ومع ارتفاع درجة حرارة المنطقة ، وفي الوقت ذاته مع مرور الهواء الجوي المؤكسد خلال الشحنة ، فإن كثيراً من الأكاسيد السابق اختزالها ، وكذلك بعض الأكاسيد غير المشبعة بالأوكسجين ، وخاصة الناتجة من تحلل كربونات وكبريتيدات المعدن نجد الفرصة لاستعادة الأوكسجين المطلوب منها . وتتبع عملية الأكسدة هذه ، إعادة بناء بلورات المعدن على سطح حبيبات الحام ، مكونة بذلك ارتباطاً بين كل حبة من الحام المجاورة لها . وقد يبدأ الارتباط خلال مرحلة الاختزال التي تسبق مرحلة الاشتعال والأكسدة .

وتنتج خلال تفاعلات الأكسدة المذكورة ، كميات هائلة من الحرارة ، يتبعها ارتفاع درجة حرارة الشحنة ومكوناتها ، فتتحد بعض أكاسيد المعدن مع بعض الشوائب كالسيليكيا ، مكونة السيليكات ، التي تسبب في ترابط حبيبات الحام بعضها ببعض ، عند انخفاض درجة الحرارة وتصلب هذه السيليكات مكونة اللييد .

ومع استمرار سحب الهواء خلال شحنة اللييد ، وابتعاد منطقة الاشتعال عن طبقة ما ، تتم في الواقع عملية تبريد جزئي للشحنة في هذه المنطقة .

ومن الطبيعي أن تتداخل هذه الطبقات إحداها في الأخرى ، بمعنى أنه ليس هناك فاصل محدد دقيق يفصل بينها . ذلك أن هناك العديد من الخواص الكيميائية والفيزيائية ، التي تتحكم في مثل هذه التفاعلات المتواصلة ، حتى يتم تليد آخر شحنة فوق الباطات . ويتراوح سمك شحنة اللييد على الحصى ما بين ١٥ و ٣٠ سم .

ومعدل انتقال سطح الاشتعال داخل الشحنة ، يسمى « سرعة التليد الرأسية » . وعليه يجب الربط بين البرعة الأفقية للمكنة ، وبين برعة التليد الرأسية هذه ، بحيث تتم عملية التليد تماماً ، مع اقتراب نهاية مسار المكنة ، أي حتى قرب نهاية غرف سحب الهواء .

وتتحكم في اللبيد المنتج، خواص كيميائية وفيزيائية تحدد مدى جودته، وتصلح أساساً للمقارنة. وهذه الخواص هي:

- ١ - الصلابة، والتماسك، وكبر الحجم.
- ٢ - أن يكون له قدرة تفاعل كيميائي كبيرة، وكذلك مسامية كبيرة.
- ٣ - أن تكون المكونات صعبة الاختزال قليلة ماأمكن.
- ٤ - أن لا يوجد أى جير في صورة حرة، أى غير مرتبط بمواد أخرى، لأن ذلك يقلل من صلابة اللبيد، ومقاومته للظروف الجوية والتخزين.

وبلاحظ أن بعض المتطلبات من الخواص المذكورة، تتعارض فيما بينها، فتلا تعتمد قوة التماسك والصلابة إلى حد بعيد على نسبة سيليكات المعدن صعبة الاختزال، وغير المرغوب فيه وجودها. لذلك كان إنتاج اللبيد الذى يلائم كل المتطلبات، يكاد يكون مستحيلاً، وخاصة إذا كانت الخامات المستخدمة أصلاً غير عالية النقاء، ويخضع الاختيار في تفضيل أحد المتطلبات على الآخر، للتجربة العملية لكل وحدة، وكل خام، وكل مكان.

٢ - إعداد الخام لتحسين خواصه الكيميائية

يتلخص هذا الإعداد في عمليات تركيز الخامات، وهى العمليات التى تجرى عليها بهدف فصل الشوائب والمواد غير المرغوب فيها، والتى تكون متحدة كيميائياً أو مختلطة بها. وتبمأ لذلك، تنوعت واختلفت أساليب العلاج بدءاً من التنقية اليدوية على السيور الناقلة خلال عمليات التكسير، إلى التصنيف، والفصل المغناطيسى أو الكهربائى، أو استخدام طريقة الوسط الثقيل، وكلها عمليات تجرى في درجات الحرارة العادية، وأخيراً التحميص الذى تتعرض فيه الخامات لرفع درجات حرارتها.

وعموماً، تعتمد عمليات التركيز من حيث المبدأ، على إمكانية استغلال اختلاف الخواص الفيزيائية والكيميائية للخامات والشوائب الملازمة لها، في فصل حبيبات كل منها عن بعضها بعضاً. ويتم ذلك بإحدى الطرق التالية:

- ١ - التصنيف.
- ٢ - التركيز باستخدام التوتر السطحي.
- ٣ - الفصل المغناطيسى.
- ٤ - الفصل الكهربائى.
- ٥ - التحميص.

١ - التصنيف : وتعتمد هذه الطريقة على اختلاف الكثافة ، والحجم ، والشكل للحيبيات المواد المطلوب تركيزها ، بمعنى استغلال كل المؤثرات التي تؤثر في مسار هذه الحبيبات في وسط سائل . وتجري هذه العملية بضغط السائل خلال طبقة من الحام ، ثم يسحب السائل بعد ذلك لتعود مكونات الطبقة إلى السكون مرة أخرى ، وهكذا ، فعند اندفاع السائل تسحب مكونات طبقة الحام في حام مطلق ، بحيث ترتفع المكونات الثقيلة بقدر محدود ، أما الشوائب الخفيفة ، فترتفع مسافة أكبر ، ثم يسحب السائل ، يحصل على تدرج للحيبيات المكونة للطبقة حسب أوزانها ، أما الشوائب الخفيفة ، وخاصة المواد الطينية ، فيتم التخلص منها مع ارتفاع السائل فجأة في الحام . وحيث أن كمية السائل المدفوعة أكبر من حجم الحام ، فإن الزيادة تتسرب إلى توصيلات جانبية ، حاملة معها هذه المواد الخفيفة ، ويتكرر هذه العملية ، تتكون في الحام طبقات من المكونات الثقيلة ، تنقل بعدئذ إلى أماكن التخزين . وهي إما حبيبات صغيرة ذات كثافة عالية ، وإما حبيبات كبيرة ذات وزن ثقيل . ولذا تجرى عليها بعد ذلك عمليات فصل بالتناخل أو « الفرايزيل الآلية » أو باستخدام « طوالات التركيز » ، ليم فصلها بعضها عن بعضها الآخر ، وبالتالي يتم الحصول على الحام المركز .

ما تقدم ، يتضح أن الفصل في طريقة التصنيف المشار إليها ، قد اعتمد فعلياً على الوزن الكلي للحيبيات المفصولة ، مما قد ينجم عنه أن يكون ناتج عمليات الفصل حاوياً لمعادن أخرى لها نفس كثافة المكون المطلوب فصله أو أكثر منها ، بالإضافة إلى احتمال وجود حبيبات كبيرة من حبيبات الشوائب المراد فصلها . لذلك استحدثت طريقة الفصل المعروفة باسم « الفصل باستخدام الوسط الثقيل » ، التي تعتمد على كثافة المواد المراد فصلها ، واختلافها عن كثافة الشوائب والمواد غير المرغوبة الموجودة معها . فلتا نجد أن كثافة السيليكا تساوي ٢,٦٥ جم لكل سم^٣ ، وكثافة أكسيد الحديد تساوي ٣,٥ جم لكل سم^٣ ، وعليه فإذا وضع الحام في سائل كثافته ٣ جم لكل سم^٣ ، فإن السيليكا تطفو ، بينما يترسب أكسيد الحديد في القاع . وتستخدم الجالينا أو الماجنتيت في الحصول على السائل ذي الكثافة العالية . وتستخدم هذه الطريقة مع الحبيبات الكبيرة نسبياً ، وهي رخيصة التكاليف ، وتحتاج لعناية تامة في استرداد المادة المضافة لرفع كثافة الوسط السائل .

٢ - التركيز باستخدام التوتر السطحي : وتعتمد هذه الطريقة على اختلاف حساسية التوتر السطحي للمعادن المختلفة . وتطبق على الخامات المطحونة الناعمة جداً ، ولا تقتصر نتائجها على فصل المعدن عن الخام ، بل تتعداها إلى فصل المعادن بعضها عن بعض . ويمكن تلخيص فكرتها في الآتي :

يأمرار فقاعات هوائية خلال سائل يحوي حبيبات من معادن مختلفة ، فإن بعض ذرات هذه المعادن تعلق بالفقاعات ، وترتفع لتعوم على سطحه ، حيث يمكن تجميعها واستخلاص المعادن منها . ولما كانت الخواص السطحية للخامات والمعادن ، تختلف فيما بينها تفاوتاً صغيراً جداً ، فلهذا يجب تكبير هذا التفاوت ، ويتم ذلك باستخدام مركبات عضوية تسمى « المجمعات » ، وهي إما زيوت عضوية مثل الكروسين ، أو الديزل ، أو زيت الوقود ، أو قواعد عضوية . ومن خواص هذه المجمعات ، أن تتأين في المحاليل المائية ، وعليه تتحد مع أيونات المعدن المراد فصله ، مكونة مركبات غير قابلة للذوبان في المحلول ، تغطي سطح المعدن وتكسبه صفة التوتر السطحي للزيت المستخدم ، بمعنى تملكه لزواوية التصاق كبيرة مع الماء .

واختيار نوعية الجمع ، يعتمد أساساً على عوامل أهمها :

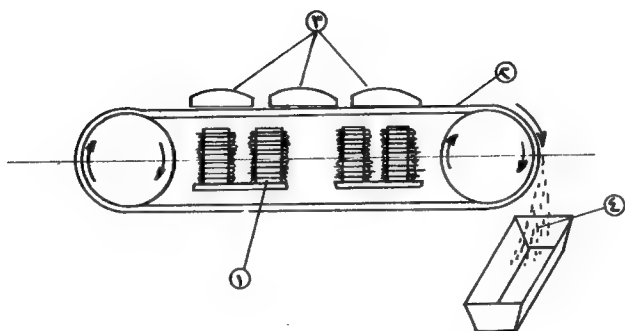
(١) طبيعة المعادن الذي يحتوي عليها الخام .

(ب) درجة أكسدة هذه المعادن .

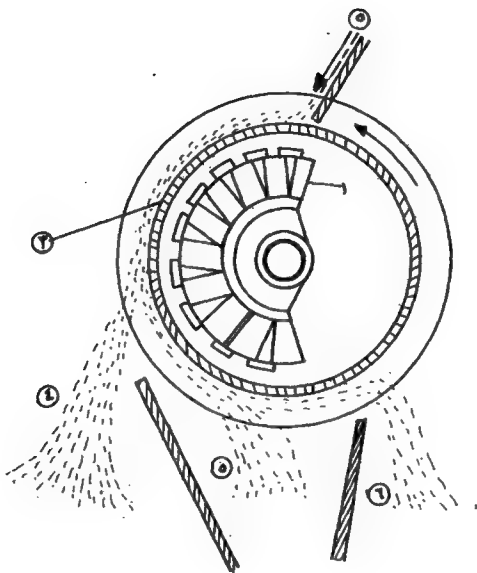
(ج) وجود المعادن الثقيلة ، حتى ولو بنسبة ضئيلة .

وعلاوة على ذلك ، فإن إضافات أخرى تضاف إلى المحلول وتسمى « المنظفات » . وتتركز أهميتها في حفظ « الرقم الهيدروجيني » للمحلول في أضيق الحدود ، بحيث يمكن التفرقة بين المعادن نتيجة لمدى نجاحها مع قيمة هذا الرقم الهيدروجيني . وتستخدم الكروونات وسيليكات الصوديوم وحامض الكبريتيك والقلويات لذلك .

ويمكن ، بتنشيط أو تهيبط خواص السطح للمعادن باستخدام « المنشطات » أو « المهبطات » . أن يتم فصل المعادن بعضها عن بعض . وتتلخص نظرية عمل المنشطات أو المهبطات ، في تمرير أو عدم تمرير سطح المعادن للمحيط . فثلاً عند فصل الرصاص عن الجالينا ، يستخدم كبريتيد الصوديوم ، الذي يغطي سطح الجالينا تماماً ، حتى لا يتحد أى أيونات للرصاص أية جالينا طليقة ترتبط بها ، وعلى هذا فكبريتيد الصوديوم يعتبر مفيداً في



الشكل ٧ - الفاصل المغناطيسي ذو السيور



(١)

شكل ٨ - القاطع المقاطع الدائري

هذه الحالة كمهبط ، وهكذا . ويحدث التشحيط أو التهيط إما عن طريق عامل مساعد ، كالمثال السابق ، أو بجمع ترسيب مركب الجمع على سطح المعدن .
وتضاف عادة في مثل هذه العمليات ، مواد تسمى « المرغيات » أو المواد التي تساعد على تكوين فقاعات ثابتة ، لها القدرة على حمل المادة المطلوب تعويمها ، وفي الوقت نفسه لاتكون معه ارتباطاً قوياً ، بحيث يمكن فصل المعدن عنها يرشها بالماء .
وتجرى عملية الفصل هذه فيما يسمى « خلية الترميم » ، حيث يضغط الهواء خلال المحلول الموجود بها ، فتتكون فقاعات تتصاعد إلى سطحه ، حاملة المعدن المطلوب ، حيث تتجمع على هيئة فقائيع تسحب إلى مجمعات المعالجة ، للحصول على المعدن منها بالرش بالماء . ثم ينقل المحلول إلى خلية أخرى حيث تجرى عليه نفس الخطوات السابقة ، ثم إلى أخرى ، وهكذا ، حتى تنخفض نسبة المعدن في المحلول إلى النسبة التي لايمكن استغلالها بعدها فيلق به . وتتميز هذه الطريقة بإمكانية معالجتها للأحجام الناعمة جداً التي لايمكن معالجتها بطرق أخرى .

٣ - الفصل المغناطيسي : تتميز بعض العناصر بخواصها المغناطيسية ، وبالتالي يستفاد صناعياً بهذه الخواص في عمليات فصل المعادن عندما توجد بها شوائب ليست لها هذه الخاصية . وعليه فإذا تعرضت الحبيبات القابلة للمغطة ل مجال مغناطيسي ، فانها تنفصل تاركة الشوائب المتخلطة بها ، ويمجرى ذلك بإمرار هذا الخليط على سير ناقل تحت مغناطيس قوى ، حيث تعلق الحبيبات القابلة للمغطة بالمغناطيس ، وتنفصل عما دونها (شكل ٧) .

ومن المعروف أنه كلما زادت مغناطيسية أحد المواد ، كلما أمكن تأثيرها ب مجال مغناطيسي أضعف . وعليه ، فبإضعاف قوة المغناطيس تبعاً من الشمال إلى اليمين (شكل ٨) ، تزيد مغناطيسية الفصل ، وبالتالي يمكن فصل المعادن كل عن الآخر ، وفقاً لخاصيته المغناطيسية ، ويمكن أيضاً باستخدام هذه الطريقة ، فصل الحبيبات غير المغناطيسية حسب أحجامها (أو أوزانها) .

٤ - الفصل الكهربائي : تختلف قدرة المعادن على توصيل التيار الكهربائي ، فبها جيدة التوصيل ، والأقل جودة ، فالأقل ، وهكذا . وقد استخدمت هذه الخاصية في فصل هذه المعادن بعضها عن بعض ، وذلك بتعرضها لشحنات كهربائية استاتيكية كبيرة ، ثم توصيلها بالأرض عن طريق موصل جيد ، فتكون نتيجة ذلك ، أن المعادن جيدة التوصيل تنفذ

شحتها بسرعة ، بينما تفقدنا الأقل جودة بمعدل أقل ، ونحتفظ بها الخامات رديئة التوصيل لفترة أطول . ومعنى هذا أن المعادن الجيدة ، تفقد ارتباطها بالموصل بسرعة عن المعادن رديئة التوصيل ، والتي تظل عالقة بالموصل الكهربائي لمسافة أكبر . وتستخدم هذه الطريقة في فصل مكونات الرمال السوداء المتعددة ، وكذلك في حالة ما إذا كانت حبيبات المعادن المطلوب فصلها متجانسة جيمًا ، وطريقتنا الفصل المغنطيسي والكهربائي تتطلبان طحن الخامات لأحجام صغيرة جدًا ، الأمر الذى يقلل معه استخدامها على نطاق صناعى كبير ، نظرًا لزيادة التكاليف الرأسمالية .

٥ - تجميع خامات الحديد : سبق أن أشرنا إلى أن عملية تركيز الخام تهدف إلى زيادة نسبة الحديد فيه ، وذلك بتخليص الخام بقدر المستطاع من الشوائب العالقة به . وقد تكون هذه الشوائب صلبة أو غازية ، وبناء على ذلك ، تعتبر عملية تجميع كربونات الحديد (السبيريت) لتخليصها من غاز ثان أكسيد الكربون ، من عمليات تركيز الخام . وتتلخص هذه العملية في تسخين هذا النوع من الخام إلى درجة حرارة عالية . دون درجة حرارة بدء انصهاره (ميوعته) مع السماح للكيات الكبيرة من الهواء بالمرور خلال طبقات الخام ، وقد يستخدم أحيانًا هواء لافخ . وعندما تصل درجة حرارة الخام إلى درجة الحرارة التى يساوى أو يزيد فيها الضغط الجزئى لغاز ثانى أكسيد الكربون على الضغط المحيط ، يتصاعد الغاز ويتخلص منه وفقًا للمعادلة الآتية :

وبعملية حساسية بسيطة ، نجد أنه إذا تعرض خام السبيريت الذى يحوى ٣٥% حديد لعملية التجميع ، وخلص من كل مالدیه من غاز ثانى أكسيد الكربون ، فإن نسبة الحديد به ترتفع الى ٤٥% .

وتستخدم عملية التجميع أيضا لخامات بيريت الحديد ، حيث يمكن التخلص من نسبة كبيرة من الكبريت الذى بها .

المصادر الأخرى لمعدن الحديد

بالإضافة إلى المصدر الطبيعي الرئيسى لمعدن الحديد ، وهو خاماته الموجودة فى الطبيعة ، فإن هناك مصادر أخرى صناعية تولدت للتطور التكنولوجى الذى صاحب صناعة الحديد والصلب فى السنين الأخيرة . ولقد ظهر هذا التطور فى صدر العديد من الطرق ، بهدف إمكانية معالجة التباين فى خواص وتحاليل الخامات ، ، وحتى يمكن تحقيق الخواص المطلوبة للصلب المنتج . ويلزم للتخلص من الشوائب العديدة تحت ظروف خاصة لتخليص المعدن منها ، إدماجها كمركبات كاثية فى الحثب المنتج . وعليه تتولد مجموعات من الحثب تحوى نسباً عالية من المعدن الذى تسرب إليها مع عمليات فصلها عن باقى حياته . وهذه المصادر وإن كانت لا تصلح بمفردها للإستغلال ، إلا أنه نظراً لخواصها وتركيبها الكيميائى ، تصلح كإضافات إلى شحنات الأفران العالية ، بحيث يمكن استخلاص المعدن منها والاستفادة من باقى مكوناتها . وتتميز غالبية الحثب - موضع الحديث - باحتوائها على نسبة عالية من المنجنيز أو الفسفور ، مع توازنها أو زيادة طفيفة للجير فيها ، وفيما يلى تتعرض لأكثر مجموعات الحثب انتشاراً وهى :

(أ) خثب الأفران المفتوحة :

هو خثب مرتفع القاعدة ، ويحوى نسبة عالية من المنجنيز تتراوح ما بين ٩,٥ ٪ ، ويحوى كذلك نسبة عالية من المعدن تتراوح ما بين ١٨,١٢ ٪ ، وعليه فيأضافتها إلى شحنة الفرن العالى ، وخاصة عند إنتاج أنواع من الزهر عالى المنجنيز ، يمكن الإقلال من إضافة الحجر الجيرى ، وتخفيض ماتبع هذه الإضافة من أثر سلبى على اقتصاديات التشغيل .

(ب) رماد مدخنة المحولات :

وهو خليط من الحثب والحديد ، يتطاير من فوهة المحولات وهى فى وضعها الرأسى خلال عمليات النفخ ، ويحوى من ١٠ إلى ٢٠ ٪ من الحديد . وفى حالة محولات توماس ، تصل نسبة الفسفور فيه إلى ٧ ٪ . ولما كان الرماد ناعماً جداً . فتلزم معالجته فى وحدة التلييد قبل استخدامه .

(ج) خثب الأفران الفاطسة وأفران التسخين بأقسام الدرفلة :

وهو خثب حامضى يحوى نسبة عالية من السيليكا (٢٠ إلى ٢٨ ٪) ونسبة تتراوح ما بين

٥٠ و ٥٥٪ من المعدن ، ويفضل استخدامه بالأفران العالية أحياناً ، لما له من أثر فعال في إزالة الرواسب التي قد تتكون بالمفروض العلوى بها .
وبالإضافة إلى مجموعات الخبث هذه ، هناك مصدر آخر هو الأكاسيد التي تتولد من خلال عملية درفلة المعدن ، أو خلال عمليات طرقه لتشكيله ، والتي تتكون من ماجنتيت نق يحوى من ٦٠ الى ٧٠٪ من وزنه من المعدن .

(د) مصادر أخرى :

ومن المصادر الأخرى أيضاً ، المعدن أو أكاسيده المتولدة عن عمليات تحميص كبريتيد الحديد في المصانع الكيميائية لإنتاج حامض الكبريتيك ، والتي يتولد عنها ما يسمى بالبيريت ، وهو يحوى من ٥٥ إلى ٦٠٪ من المعدن . وكذلك ناتج عمليات صناعة الألومنيوم من البوكسيت ، حيث يتبقى في نهاية العمليات الصناعية خليط يحوى ٣٠٪ من الحديد . ويعتبر من المصادر الأخرى للمعدن ، باقى عمليات استخلاص النحاس من خاماته ، وهى تحوى عادة نسباً عالية من الحديد ، حيث يحوى هذا الباقي حوالى ٥٠٪ منه من الحديد . وتقتاز هذه المصادر برخص سعرها بالنسبة إلى الخام ، كما أن استخدامها يمثل طريقة من طرق استغلال نفايات المصانع التي يلزم التخلص منها .

المصهرات

تحوى غالبية خامات الحديد نسباً من الشوائب غير المرغوب فيها ، وتكون هذه حامضية التكوين ، غالباً ، وغير قابلة أو صعبة الإسالة في درجات الحرارة السائدة في الفرن العالى . كما يتضح من الجدول التالى :

المادة	نقطة الانصهار	المادة	نقطة الانصهار
الألومينا	٢٠٥٠ °م	الجير	٢٦٧٠ °م
الماجنتيت	٢٨٠٠ °م	السيليكا	١٧١٠ °م

كما يحوى الكوك رمادا به نسبة عالية من السيليكا، بالإضافة إلى الكبريت، العدو الأول للحديد. ويعتبر الكوك أهم مصادره يشحنه الفرن العالى.

وللتخلص من هذه الشوائب جميعاً، تضاف المصهرات، التى يمكن تعريفها بأنها المواد التى ترتبط مع الشوائب صعبة السيولة أو غير المرغوب فيها، ومع الكبريت، ومع رماد الفحم، مولدة مركبات كيميائية سهلة الإزالة بالأفران العالية. وينتج عن هذا الارتباط تكون مركب كيميائى جديد، هو خليط من السيليكا والألومينا والجير وأكاسيد المنجنيز، ويسمى «الخبث»، الذى يتميز بقدرته الكبيرة على الاتحاد بالكبريت، وبالتالي الإقلال من الكبريت الطليق القابل للاتحاد بالمعدن.

وأهم هذه المصهرات، (مساعداً الصهر)، الحجر الجيري، والدولوميت، والطباشير الفوسفورى.

(١) الحجر الجيري :

يوجد الحجر الجيري لحسن الحظ فى مناطق عديدة، وتتعدد اسماءه حسب ظروف تكوينه، ومصدره، وحسب مظهره وملامحه، وحسب مكوناته الأساسية. فنلا يقال حجر جيرى رملى، أو حجر جيرى صينى، أو حجر جيرى حديدى، أو حجر جيرى حبيبي، الخ.

ومن الطبيعى، أن تقيم صلاحية الحجر الجيري للعمليات الميثالورجية، يعتمد أساساً على نسبة الجير المتبقية بعد خصم الكمية اللازمة لموازنة الشوائب (عادة السيليكا) الموجودة به. وتضيف هذه الشوائب عبئاً على العمليات الميثالورجية، حيث أنها تسبب فى زيادة كمية الخبث الناتج، وبالتالي تسبب زيادة استهلاك الوقود، وتقلل من كفاءة شحنة الفرن وإنتاجيته. ومن أهم شوائب الحجر الجيري، بالإضافة إلى السيليكا، الكبريت، والفوسفور. لذلك يجب ألا يحوى الحجر الجيري فى العمليات الميثالورجية أكثر من ٠,١% من وزنه من أى منها، ولو أن زيادة الفسفور فى حالة إنتاج زهر توماس مرغوب فيها.

وبالحال الحجر الجيري الناتج من المناجم فى الكسارات، للحصول على الأحجام المناسبة للشحن فى الفرن العالى، والتى يجب ألا يتعدى حجمها ٧٠ مم. وتنتج عن ذلك كميات من النواعم غير المناسبة، تستخدم فى عمليات التليد والتكوير.

(ب) الدولوميت :

ترجع أهمية استخدام الدولوميت كمساعد صهر ، إلى أن للماغيترا مقدرة كبيرة على الاتحاد بالسيليكا ، فيتحد كل كجم منها مع ١,٥١ كجم من السيليكا ، بينما يتحد كل كجم من الجير مع ١,٠٨ كجم منها فقط . هذا بالإضافة إلى ما أثبتته الأبحاث الحديثة ، من أن قدرة الماغيترا على انتزاع الكبريت ، وتخليص المعدن منه ، أكبر من قدرة الجير . ولكن ، نظراً لتأثير الماغيترا على سيولة الحث ، فقد حد ذلك من استخدام الدولوميت بكمية كبيرة في شحنات الأفران العالية ، حيث أن الماغيترا تسبب الإقلال من سيولة الحث إذا كان وجودها فيه بنسب قليلة . بينما تزيد سيولة الحث إذا وجدت بنسبة تزيد على ٥ إلى ٦ ٪ . ولهذا يفضل وجودها بالأفران العالية بهذه النسبة المرتفعة ، إلا إذا كان في زيادة نسبتها تأثير ضار على استعمالات الحث المنتج .

(ج) الطبائير الفسفوري :

تعتبر من الإضافات التي تفضل في حالة الرغبة في الحصول على حديد زهر توماس . ويعتبر فوسفات الجائر من أجود هذه الأصناف . ويحوى هذا الخام نسبة من الجير تعادل ٤٠ ٪ ونسبة من الفسفور تعادل حوالى ٤ ٪ .

الرمال : يستخدم الرمل كإضافة مع الخامات والشحنات التي تزيد فيها نسبة الجير إلى السيليكا على النسبة المقبولة للأفران (١,٢ - ١,٢٥) ، وذلك لموازنة الحث الناتج ، حيث أن الحث عالى القاعدة ، يحتاج إلى كميات إضافية من الوقود لإساليته .

الوقود المستخدم بالأفران العالية

إن أهم أنواع الوقود المستخدمة في صناعة الحديد والصلب عامة ، هى الكوك ، والمازوت ، وغاز الأفران العالية ، والغازات الطبيعية ، وغازات الكوك . وعموماً يعتبر الكوك المصدر الرئيسى للطاقة الحرارية بالأفران العالية ، غير أن العديد من الوحدات المساعدة كمسخنات الهواء والغلايات ، تستخدم هذه الغازات أو المازوت كمصادر لإعداد الطاقة الحرارية اللازمة لها .

ونستعرض فيما يلى مصادر هذه الأنواع وخواصها في صورة سريعة ، المهدف منها التوضيح المبسط دون الدخول في التفاصيل ..

١ - فحم الكوك : ينتج فحم الكوك من عمليات تسخين الفحم الحجري (تسمى أحياناً عملية الكربنة أو التوكيك) ، يميز عن الهواء ، فتتصاعد المكونات المتطايرة ، ويتخلف باق عام هو الكوك . وتجري هذه العملية في أفران خاصة (الشكل ٢١) اكشفت بألمانيا بمصانع كوبرز عام ١٨٩٩ أبعادها ١٢ × ٠,٤ × ٤ أمتار ، تبقى في مجموعات متتالية تكون مايسمى « بطارية إنتاج الكوك » . ويفصل كل قرن عن الآخر ، غرفة الاحتراق التي يجري فيها احتراق غازات الأفران العالية أو غاز الكوك ، في مسارات متعرجة داخل الغرفة ، مما ينتج عنه تسخين الطوب الحراري لجدران الغرفة ، إما بالتلامس المباشر ، وإما بالإشعاع ، كذلك ترتفع درجة حرارة الجدران الفاصلة بين الغرف المملوءة بالفحم الحجري ، وتتم نتيجة لهذا عملية تقطيره .

ولما كان من الضروري الحصول على الكوك متجانس التكوين ، فإنه يلزم إجراء عمليات طحن وخط للفحم ، بحيث تتجانس شحنات أفران التوكيك . وبالتالي تختار خلطة الفحم المستخدمة للتوكيك من الفحم الحيواني على المواد المتطايرة ، الذي يمتاز بأنه يتضخم ببطء ، وينتج عائداً أقل ، ومن الفحم منخفض المواد المتطايرة الذي يتضخم بشدة ، ويعطى عائداً أكبر . وفائدة هذا الخليط ، أنه لا يمرض جدران الأفران لضغوط عالية ، قد تسبب تدهمها ، كما أنه يحقق إنتاجاً كبيراً .

وحيث أن تسخين غرف الاحتراق يخضع لمراقبة دقيقة ، فإن ناتج عملية التقطير الرئيسى وهو الكوك ، لا بد أن يكون متجانساً . وتلخص عمليات التوكيك فيما يلي :

١ - ينقل الفحم الناعم بسبور خاصة إلى برج الفحم ، أى مكان تخزينه الموجود أعلى بطارية الكوك . وسحب منه بواسطة « عربة الشحن » التي تتحرك على مسار خاص فوق سطح البطارية .

٢ - تضبط عربة الشحن فوق الغرف المراد شحنها . وبواسطة أجهزة خاصة موجودة بالعربة ، يزال غطاء الغرف ، فيتساقط الفحم الحجري إلى داخلها ، ثم يغلَق الباب ثانية بواسطة قضيب متحرك يوجد في آلة الرفع ، ويسوى سطح الشحنة داخل الفرن .

٣ - يترك الفحم داخل الغرف . معرضاً للحرارة الناتجة عن ارتفاع حرارة طوب جوانب الفرن ، حتى تتم عملية التقطير الإتلاقي ، ويمكن معرفة ذلك عن طريق أجهزة تحليل الغازات الناتجة والتحكم فيها ، ويستغرق ذلك فترة تتراوح ما بين ١٤ و ١٨ ساعة .

٤ - عند انتهاء عملية التكويد ، يفتح الباب الجانبي بواسطة عربة الفتح ، وتدفع شحنة الفرن عن طريق آلة الرفع المثبتة في الجانب الآخر من الفرن ، وتخرج شحنة الفرن على هيئة قالب ملتهب ، لتستقبلها « عربة التفريغ » التي تنقلها مباشرة إلى « برج تبريد الكوك » حيث ترش بكمية محسوبة من الماء لتبريد الكوك ببرعة ، حتى لا يحترق في الجو .

٥ - ينقل الكوك بعد ذلك إلى « منحدرات الكوك » حيث يسحب منها عن طريق بوابات خاصة إلى سير ناقل ، ومنه إلى عمليات التخل ، حيث تفصل الأحجام الصغيرة ، ثم تصدر الأحجام الكبيرة (فوق ٤٠ سم) إلى الأفران العالية .

أهم خواص الكوك الميتالورجى :

يتميز الكوك اللازم لعمليات إنتاج الحديد الزهر ، وللعمليات الميتالورجية عامة ، بمجموعة من الخواص الفيزيائية والكيميائية التي تتناسب وطبيعة العمليات المستخدمة فيها . وتعتمد هذه الخواص إلى حد كبير ، على نوع الفحم المستخدم ، وزمن تكويده ، ودرجة الحرارة المستخدمة ، وحجم ونوع الفرن المستخدم . وتلخص فيما يلى هذه الخواص :

(أ) الخواص الفيزيائية :

- ١ - أن يكون حجمه كبيراً (من ٤٠ إلى ١٢٠ سم) .
- ٢ - أن لا يحتوى على كوك ناعم .
- ٣ - أن تكون مقاومته للاحتكاك كبيرة ، وذلك حتى لا يتفتت عند احتكاك بعضه ببعض .
- ٤ - أن يكون قادراً على تحمل الضغط ، وخاصة في درجات الحرارة العالية .
- ٥ - أن يكون صلباً محدود المسامية ، حتى لا يحترق بسهولة وسرعة .
- ٦ - أن تكون درجة حرارة يده انصهاره عالية .

(ب) الخواص الكيميائية :

- ١ - أن تكون نسبة الكبريت فيه أقل ما يمكن ، ذلك لأنه المصدر الأول للكبريت في شحنة الأفران العالية (عادة أقل من ١,٢ ٪) .
- ٢ - أن تكون نسبة الرماد فيه أقل ما يمكن (عادة أقل من ١١ ٪) . وقد لوحظ أن خفض كمية الرماد من ١٧ ٪ إلى ٣,٥ ٪ يتولد عنه خفض ١٠ ٪ في حجم إنتاج الخبث ، مصحوباً بخفض في كمية الكوك المستخدمة ، بما يعادل ٤ ٪ من الكمية الأصلية ، مع زيادة إنتاج الحديد الزهر بما يعادل ٤ ٪ .

٣- أن لاتتعدى نسبة الرطوبة به ٥% بأى حال .

٤- أن تكون نسبة الكربون النابتة فيه أعظم مايمكن (على الأقل ٧٨%) .

وللأهمية الخاصة للكوك ، يخضع المنتج للعديد من الاختبارات الكيميائية لتحديد نسب الكبريت ، والرماد والرطوبة ، والكربون الثابت ، والمواد المتطايرة . كما يخضع للعديد من التجارب ، لاختيار الخواص الفيزيكية التى تحدد قدرته على تحمل الضغط . وكذلك تحدد مقاومته للتصادم ، وصلابته ، وقاسكه ، ويتم ذلك فى سلسلة من الاختبارات المتفق عليها دولياً ، لتحديد مدى مطابقتها للمواصفات المذكورة .

٢- غاز الكوك :

تتولد عن عمليات التقطير الإتلاقي (أو التوكيك أو الكربنة) للفحم الحجبرى فى بطاريات الكوك ، كميات هائلة من غاز الكوك الخام ، والتى تتراوح بين ٣٠٠ و ٣٥٠ م^٣ لكل طن من الفحم الحجبرى المستخدم . ويتكون الغاز الخام من بخار الماء ، بالإضافة إلى غاز الهيدروجين ، والأوكسيجين ، والنيتروجين وأول وثانى أكسيد الكربون ، مع نسب بسيطة من الميثان والبزول ، بجانب العديد من المواد الأخرى . ويتنق غاز الكوك الخام ، بتخليصه من الرطوبة والبزول وكبريتيد الهيدروجين ، ويحصل بذلك على غاز الكوك النقى الذى تبلغ سخته الحرارية من ٣٨٠٠ إلى ٤٠٠٠ كيلو كالورى لكل متر مكعب .

ويستخدم غاز الكوك فى الأغراض الصناعية التى تلزم فيها قيمة حرارية عالية ، علاوة على استخداماته فى صناعة الصلب ، وفى الأفران المفتوحة ، وفى مسخنات هواء الأفران العالية ، وفى أفران التسخين بأقسام التشكيل ، وفى تسخين أفران بطاريات الكوك أحياناً إذا كانت فى مكان لا يوجد فيه غاز الأفران العالية . كذلك يمكن استخدامه فى الأغراض التى يستخدم فيها غاز الاستصباح ، وهو يعادله تقريباً فى تركيبه وخواصه .

٣- غاز الأفران العالية :

وهو أحد المنتجات الجانبية لعملية إنتاج الحديد الزهر من الأفران العالية . وهو عبارة عن خليط من غازات قابلة للاشتعال ، مثل أول أكسيد الكربون ، والهيدروجين والميثان ، وغازات غير قابلة للاشتعال مثل النيتروجين ، وثانى أكسيد الكربون . ويحتوى الغاز الخام على كميات من نواعم المشحونات التى تسخن فى الفرن بكمية كبيرة

تتراوح ما بين ١٠ إلى ٢٠ كجم لكل م^٣. وبتقنيته منها، نحصل على غاز الأفران العالية النقي لتحليل متوسط كالأق :

٥٧%	نروجين
٣٠%	ثاني أكسيد الكربون
١٠ إلى ١٢%	أول أكسيد الكربون
٢ إلى ٣%	هيدروجين
آثار بسيطة	ميتان

ومن التحليل، يتضح أن الغاز يحوى نسبة عالية من المكونات غير القابلة للاشتعال، مما يؤدى إلى الإقلال من قيمته الحرارية، حيث تبلغ سعته الحرارية من ٨٠٠ إلى ١٠٠٠ كيلو كالورى/م^٣ من الغاز. ولكن وبمعرفة أن كل طن من الكوك المستخدم فى الفرن العالى ينتج من ٣٨٠٠ إلى ٤٠٠٠ م^٣ الغاز، نجد أن الفرن الذى يستهلك ٦٠٠٠ طن من الكوك يومياً، ينتج ٢٣,٤ مليون م^٣ من الغاز تحوى تقريباً ٢ × ٧١٠ كيلو كالورى، ويتضح أن غاز الأفران العالية، مصدر كبير من مصادر الطاقة الحرارية التى يجب استغلالها.

ويستغل غاز الأفران العالية فى تسخين مسخنات الهواء، وفى مصانع الكوك، وفى أفران التسخين بوحدة الدرفلة والمعالجة الحرارية، كما يمكن استخدامه فى الفلايات للحصول على البخار اللازم للعمليات الميتالورجية، وكذلك فى تشغيل التوربينات لتوليد الطاقة الكهربائية، وما سبق يتضح أن غاز الأفران العالية مصدر هام من مصادر الطاقة التى يجب استغلالها استغلالاً كاملاً، فتتخفص بالتالى تكلفة الإنتاج.

ونورد كمثال، كيفية استغلال غاز الأفران العالية المنتج فى مصانع الحديد والصلب بجلوان، وهو كما يلى :

- لعمليات الأفران العالية ٣٠ إلى ٣٥%
- لباقي وحدات المصانع ٢٠ إلى ٢٥%
- لتوليد الكهرباء بمحطة كهرباء التبين ٣٠ إلى ٣٣%
- فاقد الغاز خلال عمليات النفخ ١٠%
- كميات لا يستفاد منها وتحترق إلى ١٠% (وهى نسبة عالية)
- ٤ - الغازات الطبيعية :

وهى خليط من الغازات يكون الميتان غالبيتها، ومصدرها حقول البترول أو حقول

الغازات الطبيعية ، وتنقل الغازات إلى المصانع خلال شبكات من المواسير . وهى تكون احتياطات يمكن استغلالها متى اتبحت الفرصة لإحلالها محل جزء من الكوك المستخدم فى العمليات الميتالورجية ، وخاصة عمليات التسخين والاختزال .

٥ - الملزوت :

وهو أحد منتجات عمليات تقطير البترول الخام . ويستخدم فى تسخين الغلايات وأفران التسخين بأنواعها ، حيث يخلط مع غاز الأفران العالية أو الكوك . كما يستخدم حديثاً فى الأفران العالية لإحلال جزء من الكوك المستخدم ، وتبلغ سعته الحرارية ٧٢٠٠ كيلو/طن .

الباب الثاني

وصف الفرن العالى

يجب أن يحقق تصميم الفرن العالى بأجزائه المختلفة ، القيام بأداء وظيفته الأساسية ، والى تلخص فى استغلال مكونات شحنة الفرن من الحام ، والحجر الجيرى أو الدولوميت ، وفحم الكوك ، والإضافات الحديدية ، علاوة على الهواء اللاقح الداخلى من قرب نهايتها السفلى فى إنتاج الحديد الزهر والمخبث اللذين يسحبان من فتحات خاصة فى الجزء الأسفل للفرن ، بالإضافة إلى غاز الأفران وأتربة الغازات التى تتصاعد من أعلاه .

وتتعرض المشحونات خلال هبوطها بالفرن الى العديد من التغيرات الكيميائية والفيزيائية ، فترتفع درجة حرارتها ويزداد حجمها فى الجزء العلوى من الفرن ، لتسود مرة أخرى فى قرب نهاية رحلتها داخله الى الانكماش نتيجة انصهارها . لذلك كان من اللازم أن يكون شكل الفرن (بروفيله) بالكيفية التى تسمح بإقام هذه العمليات على الوجه الأكمل .

ويتكون الفرن فى شكله العام ، من مخروطين ناقصين/تلاقيان بقاعدتيهما الكبيرتين ، يسميان « الفروط العلوى » و « الفروط السفلى » . تبعاً لوضعها بالفرن ، وينتهى الفروط السفلى بقاعدته الصغيرة فى المكان الذى يتجمع فيه ناتج إنصهار المشحونات بأسفل الفرن ، والذى يسمى « بودقة الصهر » . والأفران العالية تتبر من الوحدات الإنتاجية المستمرة التى لا يميز إرباؤها أو إعاقتها . وينى ذلك استمرار شحن الخامات ، وخروج الغازات وما تحصله من أتربة من أعلى الفرن ، وسحب المخبث والحديد على فترات زمنية منتظمة من أسفله . وما يزيد من صعوبة التشغيل ، وبالتالي مما يحسم ضرورة التحكم الدقيق فيه ، أن العملية مغلقة ، حيث لا يمكن أن يشاهد بالعين ما يتم فى مراحلها المتوسطة . وعليه يجب أن يجهز الفرن العالى بالصديد من أجهزة القياس والتحكم ، التى يمكن عن طريقها تتبع الخطوات المختلفة فى مراحل التشغيل .

وبالإضافة الى ماسبق ، فإن طبيعة العمل تقتضى أن يتعامل الفرن مع كميات ضخمة من المشحونات ومن المنتجات . ويمكن أن نعلم أن الطن الواحد من الحديد الزهر المنتج ، يحتاج فى المتوسط العادى إلى ٢ طن من الحام ، ٧.٠ طن من الحجر الجيرى ، ١ طن من الفحم ، ٤ أطنان من الهواء اللاقح . ويتبع ذلك انتاج ٦ أطنان من الغازات ، و ٧.٠ طن من

الخبث، و ٨٠ كجم من تراب الغازات، وعليه، نجد أن القرن سعة ٢٠٠٠ طن يومياً (متوسط سعة الأفران حالياً) يتعامل مع ٤٠٠٠ طن من الخام و ١٤٠٠ طن من الحجر الجيري، و ٢٠٠٠ طن من الفحم، و ٦ ملايين متر مكعب من الهواء. وينتج ٩ ملايين متر مكعب من الغازات، و ٢٠٠٠ طن من المعدن، و ١٤٠٠ طن من الخبث، و ١٦٠ طناً من تراب الغازات. ولما كان متوسط استهلاك المياه لكل طن واحد من الحديد المنتج يعادل ٦٠٠٠ جالون، نجد أن كمية المياه اللازمة يومياً تعادل ١٢ مليون جالون من الماء، وهي تعادل استهلاك مدينة سكنية كبيرة.

وبجانب كل ذلك فإن بقية الوحدات المساعدة للفرن، كأحواش تشوين الحفامات، وعناير معالجة الخبث، ومستخانات الهواء، وصلات الصب الإضافية، ووحدات نفخ الهواء، والوروش الميكانيكية والكهربائية، والمخازن اللازمة، تشكل احتياجات كبيرة في المكان، وتحتاج إلى مساحات شاسعة، مع حتمية توافر الترابط الداخلي فيها.

(شكل ٩)

ولقد مر القرن العالي بشكله الحالي المعروف لنا - بمراحل متعددة، تطور خلالها. وتعرض كل مقاس به إلى التغيير نتيجة للعديد من التجارب والأبحاث، حتى وصل إلى شكله الحالي. بارتفاع يصل ٣٠ - ٣٥ متراً، يتكون من مناطق عديدة، أجرى تقسيمه إليها وأنفذت كل منها شكلها الهندسي الفريد لتلائم مع التغيرات الفيزيائية والكيميائية التي تتعرض لها الشحنة في كل منها. وتتوالى هذه المناطق، من أسفل الفرن حيث القاعدة الضخمة التي يرسو عليها إلى أعلاه حيث تخرج الغازات، وحيث تشحن المشحونات، حسب الترتيب التالي:

١ - القاعدة والأساسات.

٢ - بودقة الصهر.

٣ - المخروط السفلي.

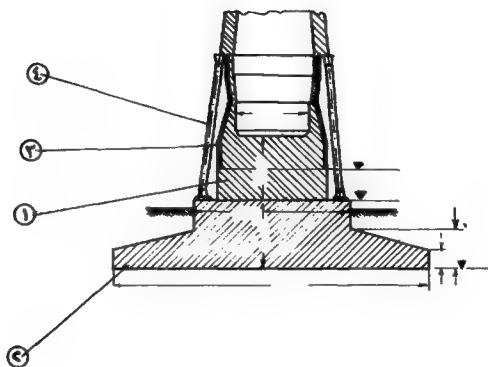
٤ - الأسطوانة أو البرميل.

٥ - المخروط العلوي.

٦ - الحلق أو الزور.

٧ - قبة القرن.

وفيما يلي وصف مبسط لكل منها:



الشكل ١٠ - قاعدة الفرن العالي

١- قاعدة القرن : (الشكل ١٠) :

تحمّل قاعدة القرن (الأساسات) بأحمال ضخمة تحت ظروف التشغيل وما يستتبعها من ارتفاع في درجات الحرارة ، وخاصة في السنوات الأخيرة من عمر البطانة الحرارية بمنطقة الصهر عندما يقترب الحديد السائل المحترق لأماكن تآكل هذه البطانة ، من الأساسات . ويصل مجموع هذه الأحمال في الأفران الحديثة إلى مايزيد على ٢٥٠٠٠ طن وحيث أن أي هبوط في أحد جوانب هذه القاعدة ، يعرض القرن وجسر الشحن وتوصيلات الغازات إلى مخاطر جسيمة ، لذلك يلزم أن تكون الأساسات قوية التحمل ، تحت كل هذه الظروف . ولهذا فعند إنشاء فرن عالٍ جديد ، يبدأ في اختبارات تحمل الأرض ويراعى ألا يقل تحملها عن ١٠ كجم لكل سم^٢ مربع . ثم تصب مجموعات من الخوازيق ، يصل تعدادها إلى ٣٠٠ ، تلوها قاعدة من الخرسانة القوية التسليح الشكل (١٠) ، من الأضمت المقاوم للحرارة ، بقطر ٢٠ إلى ٢٥ متراً ، وارتفاع ٥ إلى ٧ أمتار . وهذه القاعدة يبنى عليها الطوب الحراري الذي يطوها في طبقات يصل ارتفاعها إلى ٥ أو ٦ أمتار ، وترص قوالب الطوب بحيث تتعارض أماكن التحامها ، حتى يصبح كل منها سداً أمام أي حديد سائل قد يتسرب من الطبقات التي تلوها .

ونظراً إلى ما يتعرض له هذه الطبقات من درجات الحرارة العالية ، خاصة في نهاية عمر البطانة الحرارية بمنطقة الصهر - كما ذكر آنفاً - فإن العديد من مصانع الحديد في العالم يلجأ إلى تبريدها صناعياً ، عن طريق نفخ هواء بارد في مواسير خاصة مصممة لهذا الغرض ، وأحياناً تستبدل هذه مواسير تحمل المياه . وبالإضافة إلى ذلك تقاس درجة حرارة البطانة في أماكن متفارقة ، وتتابع ، لمعرفة التغيرات التي تطرأ عليها . كما تستخدم المواد المشعة لنفس الغرض ، بحيث أنه إذا تآكل الجسم المشع ، وبالتالي توقف عن الإشعاع ، يعتبر ذلك دليلاً على تآكل البطانة إلى المسافة التي وضع بها وهذا يمكن متابعة تآكل البطانة انظر شكل .

٢- بودقة الصهر :

وهو المكان الذي يتجمع فيه الحديد والخبث المنصهران ، ويستمر أهم جزء بالفرن العالي . وتوجد به فتحة صب الحديد ، وفتحة الخبث ، وفتحة نفخ الهواء اللاصق ، وهو في شكله العام أسطوانة يبلغ قطرها من ٥ إلى ١٤ متراً ، وارتفاعها ٣ - ٤ أمتار ،

يظهرها أجود أنواع الطوب الحرارى أو الكربونى ، الذى يميل عن الرأس فى اتجاه صاج القرن كلما بعدنا عن فتحة الحديد ، وذلك حتى تتمكن جوانب البودقة من مقاومة قوى الضغط للمعدن والخبث السائلين . وتكلف هذه البطانة ألواح من الصاج السميك (٦٠ مم) مكونة الشكل الخارجى للبودقة . وأبعاد هذا الجزء من القرن ، هى التى تحدد إنتاجه اليومى .

وتتميز الأفران الحديثة عموماً بأكبر أبعاد قطر بودقة الصهر فيها ، التى لم يتغير ارتفاعها كثيراً حيث أن قيمته تحددها الاحتياجات الحرارية اللازمة لحفظ الخبث والحديد فى درجات الحرارة اللازمة لسيولتها ، وبالتالي فإنها تحدد أبعاد فتحات خروجها من مستوى أعلى درجات الحرارة بالقرن وهو مستوى الودنات (فتحات نفخ الهواء اللافح) .

ويتدرج سمك الطوب المبطن لجوانب البودقة من ١,٥ متر بأسفلها ، إلى متر واحد عند أعلاها ، بزاوية ميل ٤٥ درجة مئوية الى الخارج . وفى حالة استخدام الطوب الكربونى ، يتراوح سمك القاعدة ما بين ١,٥ الى ٢,٥ متراً . وقد تأخذ مبانى الجوانب فى أسفلها شكلاً بارزاً (حوالى ٥ إلى ٦ صفوف من الطوب الحرارى تميل بزاوية ٣٠ درجة مئوية تملو القاعدة مبانة) ، كما قد تبنى القاعدة أحياناً بشكل قوس مقعر ، وذلك للتغلب على الظاهرة المعروفة باسم « طفو الطوب الحرارى » . وهذه الظاهرة تحدث نتيجة لضغط المعدن السائل على الطوب الحرارى ، الأمر الذى ينجم عنه تخلخل الطوب وطفوه على سطح المعدن (خاصة الطوب الكربونى) ، غير أن هذا الاتجاه قل حديثاً .

وتتبع الخطوة التى تشكلها بودقة الصهر على الأفران العالية وعلى الصاملين بها ، من احتمال حدوث الظاهرة المعروفة باسم « تصدع بودقة الصهر » وهى اختراق الحديد لمبانى بودقة الصهر والصاج المخلط لها - ستعرض لذلك فيما بعد - والتى يحتاج إصلاحها الى وقت طويل وجهد شاق يقلل من إنتاج القرن ويتكلف الكثير .

ولا تعتبر تلك الظاهرة هى منبع الخطورة الوحيد بالمنطقة . فهناك العراقب الخطيرة التى تنجم عن تنزيب المياه من مبردات فتحات نفخ الهواء ، أو الخبث ، أو مبردات الطوب الحرارى للمنطقة ، والتى قد ينجم عنها الظاهرة المسماة « تجمد بودقة الصهر » التى تلخص فى تجمد المصهور من الخبث والمعدن وعدم خروجها من القرن ، وما يستلزمه ذلك من توقف القرن للإصلاح . ولقد تسببت هذه الظاهرة فى توقف العديد من الأفران العالية نهائياً عن العمل ، فى مصانع عديدة .

ولتبريد بطانة بودقة الصهر طرق تختلف من تصميم إلى آخر غير أنه يمكن حصر أهمها في الطريقتين التاليتين :

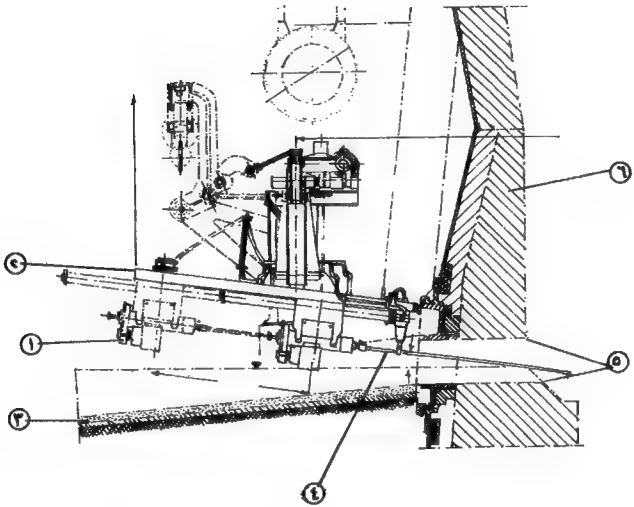
الأولى : باستخدام تبريد خارجي للصاج المقلد ، وذلك باستخدام أدشاش مياه خاصة .
الثانية : باستخدام المبردات ذات التصميم الخاص ، والتي توضع في داخل الطوب .
وتتجمع مياه تبريد الفرن في أسفله ، وتوجه عن طريق مجار خاصة لتصب في بيرة مجمدة ، مغطاة بشبكة من الأسياخ ، تحجز فوقها أى أجسام كبيرة ومنها إلى شبكة مياه راجع التشغيل للمصانع . ويستخدم عادة في الأفران الصغيرة ، الزنك في أول المجرى ، حيث يوضع كوسيلة لتأمين شبكة مياه راجع المصانع في حالات سقوط أى حديد سائل في بدروم الفرن ، عند انهيار بودقة الصهر مثلاً . حيث يتسبب الحديد المتساقط في تآكل الزنك ، وبالتالي فإنه يسقط في صالة الصب الخاصة بمجانب الفرن ولا يتسرب إلى شبكة مياه المصانع .

وتزود بودقة الصهر بمجموعات من الإزدواجات الحرارية ، توضع على أقطار متباعدة ، وبأعناق مختلفة داخل الطوب الحراري . ويمكن عن طريق متابعة قراءتها الحكم على معدل وبنوعية تآكل البطانة المقلدة ، وبالتالي فهي تمكن من الحكم على حالة البودقة والتوقعات المنتظرة قبل حدوثها بوقت كاف . وقد تستخدم النظائر المشعة لنفس الغرض .
فتحة الحديد :

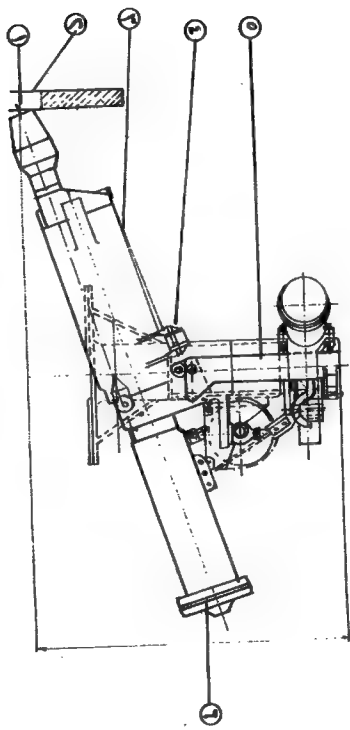
توجد في أحد جوانب بودقة الصهر منطقة أبعادها حوالي 90×60 سم تترك بدون تغليف بالصاج ، يبطن الفرن فيها بطوب الشاموت الحراري . وتوجد في منتصف هذه المنطقة ، وعلى ارتفاع حوالي 20 سم عن قاع الفرن ، فتحة بقطر من 10 إلى 25 سم ، تفرق الطوب الحراري إلى داخل الفرن . وهذه الفتحة هي الموضع الذي ينساب منه المعدن وبعض الخبث عند صب الفرن وتسمى « فتحة الحديد » وهي تطلق عادة بطبقة حرارية ذات مواصفات خاصة تدفع بداخل الفرن خلال مكنة « غلق الفرن » (المدفع) ، انظر الشكل (١١ ، ب) . ويعد فتحها مرة أخرى كلما حان موعد صب الفرن .

والأسلوب النقي للمحافظة على سلامة هذه الفتحة متأسكة وبطول محدود (يساوى ١,٨ م للأفران ذوات الأقطار الأكبر من ٥ أمتار ، وحوالي ١,٥ م للأفران ذوات الأقطار الأقل من ٥ أمتار) يعتبر من أهم واجبات العاملين بالفرن . ويشكل الإتصال بين فتحة

الحديد وداخل الفرن بطوب شاموت محفور في أحد جوانبه بحيث تشكل كل ٤ قوالب منها عند وضعها بعضها فوق ويجوار بعض ، فتحة مستديرة ميل محورها على الأفق بزاوية ميل قدرها ١٥ درجة مئوية الى ٢٥ تقريباً (حسب عمر بطانة بودقة الصهر) ، وذلك حتى



شكل ١١ - مكنة الفتح الكهربائي



شکل رقم ۱۱ ب - مکته اغلاق فنيک الحديد

يمكن بسهولة ضبط ميل « مكنة الفتح » التي تستخدم في فتح الفرن ، ولسلامة الفتحة يتحتم دائماً ضبط زاوية الميل لمكنة الفتح هذه بنفس المقدار في كل مرة يفتح فيها الفرن لصبه ، وذلك حتى تظل جوانب الفتحة الى داخل الفرن متاسكة وقوية .

ويمكن بناء منطقة فتحة الحديد بالطوب الكروي ، حتى تتجانس البطانة الداخلية لبودقة الصهر في كل أجزائها ، غير أن ذلك يتطلب تبريداً خاصاً لهذا الطوب ، وكثيراً ما تتعرض المبردات المستخدمة لأضرار نتيجة الحرارة التي تتعرض لها عند صب الحديد والخشب ، خاصة وأن عملية الصب متكررة . هذا بالإضافة إلى الأثر السيء للأبخرة الناتجة ، عند ارتفاع درجة حرارة الخلطة المستخدمة في إغلاق الفرن ، والتي تحوى نسبة من المياه ، على الطوب الكروي المغلف ، ولهذا كله يفضل أن تبقى المنطقة بطوب حرارى ، يحوى نسبة عالية من الألومينا .

وتوجد بالفرن عادة فتحة واحدة للحديد ، إلا أن بعض الأفران الحديثة كبيرة الإنتاج (من ٣٠٠٠ إلى ٥٠٠٠ طن يومياً) تزود بفتحتين (لكل منها صالة صب منفصلة مقابلة لها) ، بينها زاوية مقدارها ١٨٠ درجة . ويفتح الفرن من أحدها ثم يفتح مباشرة من الناحية الأخرى ، وهكذا . وقد يصل العدد إلى ثلاث فتحات في بعض الأفران . وقد تولدت فكرة زيادة عدد فتحات الحديد للفرن الواحد ، نتيجة لعدم إمكان زيادة حجم بودقة الصهر ، بالقدر الذى يسمح بتخزين كمية الحديد الناتج خلال الفترة ما بين كل صبة وأخرى ، وأيضاً لإتاحة الفرصة لإتمام أعمال تجهيز صالة الفرن للصب عليها .

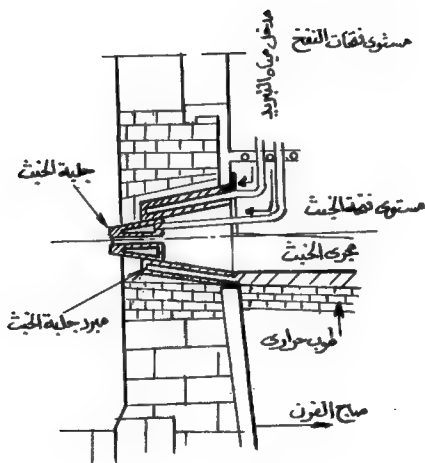
فتحة الخشب :

يلزم الاحتفاظ بالحجم الأكبر من بودقة الصهر مخصصاً للحديد السائل ، والإقلال ما أمكن من كميات الخشب الموجودة بها ، وذلك للأسباب الآتية :

- ١ - حجم بودقة الصهر بالفرن العالى محدود نسبياً .
- ٢ - للخشب تأثير غير محبب على تماسك فتحة الحديد .
- ٣ - ضرورة تخفيض زمن الصبة الكلى ، لاي فقد المعدن جزءاً كبيراً من حرارته بالبوادر .

٤ - تلاقى ارتفاع مستوى الخشب ببودقة الصهر ووصوله إلى مستوى فتحات نفخ الهواء ، وإغلاقها والإضرار بها .

وهذه الأسباب مجتمعة تستلزم التخلص من الحيث المتكون أولاً بأول . ولهذا يجهز الفرن بفتحة خاصة يمكن عن طريقها تفريغ هذا الحيث . وهي تسمى « فتحة الحيث » (الشكل ١٢) .



شكل ١٢ -

ويرتفع مستوى فتحة الخبث عن مستوى فتحة الحديد بمسافة تتراوح ما بين ٨٠ و ١٢٠ سم انظر الشكل (١٢) . وتبلغ المسافة أعلاها وحتى فتحات نفخ الهواء ما بين ٨٠ و ١٠٠ سم . وهى عبارة عن فتحة فى جانب الفرن بزاوية ٩٠ درجة مئوية من فتحة الحديد . وهى شكل مخروطي قطره داخل الفرن حوالى ٣٠ إلى ٤٠ سم ، وعند حافة الصاج المصلف لبودقة الصهر حوالى ٦٠ إلى ٧٠ سم . ونظراً لأن تلامس الخبث مع الماء لا يتبعه انفجارات خطيرة كما هى الحال عند تلامس الحديد والماء ، لذلك أمكن استخدام مبردات من النحاس ، الشكل (١٢) ملء الفراغ السابق ذكره .

وهذه المبردات تسمى جلبة الخبث الكبيرة . وهى جلبة مخروطية الشكل ، تتركز بجانبها على الطوب الحرارى المبطن لبودقة الصهر . وتتلف تماماً وبسببية ، كاملة الفجوات الصغيرة بينها ، بمخلطة حرارية خاصة . والجلبة يتصل سطحها الخارجى بمواسير مياه التغذية التى تدخلها من أسفل ، لتخرج من مجموعة أخرى من المواسير عند أعلاها . ويبلغ القطر الخارجى للجلبة من ٦٠ إلى ٨٠ سم ، عند صاج الفرن وقطرها الداخلى (داخل الفرن) ٣٠ إلى ٤٠ سم وبأعلى نهاية الجلبة داخل الفرن توجد فتحة قطرها ٢٠ سم ، وفى هذا المكان تركيب جلبة الخبث الصغيرة والمخروطية الشكل أيضاً . ويوجد فى منتصف هذه الجلبة فتحة دائرية قطرها يصل إلى ٦ سم تطلق بما يسمى الجزرة فى الأفران القديمة ، أو بقضيب مركب بمكنة غلق خاصة فى الأفران الحديثة . ويمر خلالها الماء ليبردها باستمرار انظر الشكل (١٢) .

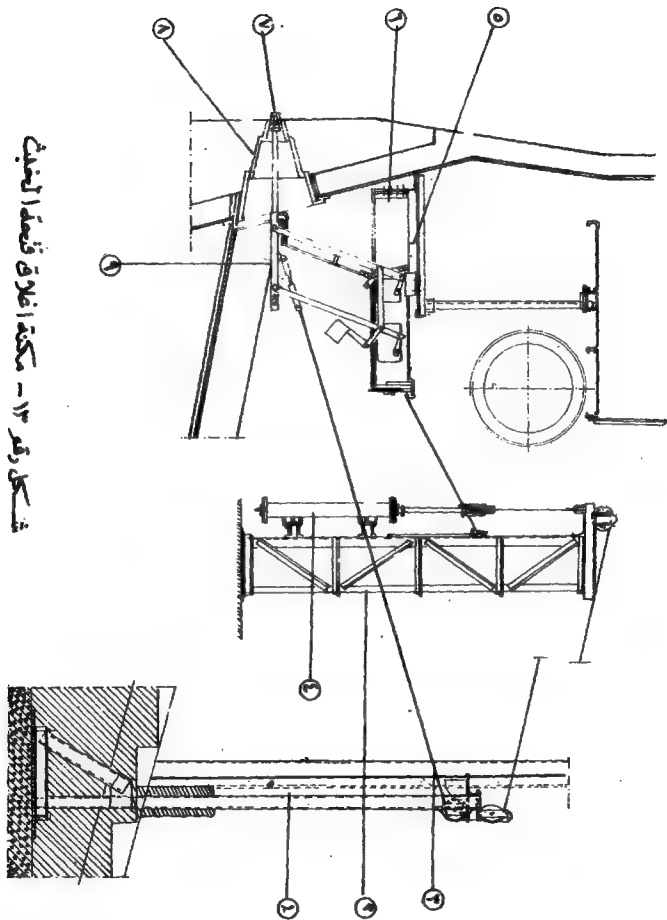
وتثبت هذه الجلبة من الخارج بحجم الفرن الفولاذية بمجموعة مواسير التبريد ، لتظل فى مكانها تقاوم الضغوط الواقعة عليها من داخل الفرن .

وتزود الأفران الحديثة - الكبيرة بفتحة خبث توجدان فى العادة - على جانبي فتحة الحديد بزاوية ٤٥° ، ٩٠ درجة مئوية على التوالى ، وذلك لتسهيل الحصول على الخبث السائل بإستمرار وبالتالى تخصيص تجويف البودقة الصهر للحديد السائل ما أمكن .

جلب نفخ الهواء اللافح : (شكل ١٣)

وتسمى فى المجال الصناعى « ودنات » نفخ الهواء . وهى الطريق الذى يدخل من خلاله الهواء اللافح إلى الفرن . وتركيب هذه « الودنات » فى الجزء العلوى من بودقة الصهر ، وتجهز لها فتحات خاصة فى جسم الفرن والمباني أنظر الشكل (١٤) . وتتراوح عددها من

شكل رقم ١٣ - مكنة اغلاق قنطرة الجنب



١٠ إلى ١٨ ودة ، (ق الأفران الحديثة يبلغ العدد ٢٢ فتحة)، متناسقة التوازن على المحيط القرن في هذا المستوى الذى يسمى مستوى « الودنات » والذى يقع على مسافة من ٥٠ إلى ٦٠ سم من نهاية بودقة الصهر العليا .

وجلب النفخ تشبه جلب الخبث في أنها تتكون من المبرد والودنة ، وتماثلها في شكلها المخروطى ، ووجود القرص المفرغ . ولا تختلف عنها إلا في أبعادها ، وفي وجود الفتحات منتصفها تماماً وفي عددها ، حيث يبلغ عددها في الأفران الحديثة ثلاث جلب مركبة داخل بعضها بشكل التلسكوب . وقد أمكن بسبب هذا التصميم تخفيض وزن وحجم ودنات النفخ ، وبالتالي سهل عملية تغييرها وتركيبها ، كما أدى إلى إقلال الوقت اللازم لذلك . ويركب المبرد - تحميه شفة خاصة - بجسم القرن ، وفي وضع أفقى تماماً . ويطلق الحيز (إن وجد) بين المبرد وجسم القرن بمخلطة حرارية . وتركب في التجويف الداخلى لهذه المبردرات ودة النفخ المخروطة الشكل والتي تنتهى عند حافة بطانة القرن ، ويبلغ متوسط قطرها الداخلى من ١٠ إلى ٢٤ سم .

وتبريد هذه الودنات النحاسية - بالغ الأهمية . ولذلك تراقب باستمرار كميات ودرجات حرارة المياه الخارجة منها لاكتشاف أى خلل بها ، ذلك لأن أى ثقب بالمبرد يؤدي إلى برودة بودقة الصهر وربما إلى تجمدها . كما أن تسرب الماء من أى من ودنات النفخ يؤثر على كميات الحرارة الكلية بمنطقة الاشتعال . وقد يتسبب تسرب الماء في برودة المعدن والخبث ، ومتاعب في التشغيل . وكما يضر بخار الماء المتصاعد ببطانة القرن ، خاصة تلك المبنية من الطوب الكربونى .

ويمكن للمعين الخبيرة اكتشاف أى خلل بودنات النفخ عن طريق مراقبة داخل القرن ، والغازات المتصاعدة ، وكذلك مشاهدة اللهب الأصفر المائل إلى الاخضرار الذى يصاحب صبات الحديد أو الخبث . وتساعد أجهزة تحليل الغازات ، وارتفاع نسبة غاز الهيدروجين فيها عن المعدل على اكتشاف أى تسرب للمياه من المبردرات أو من الودنات . ومراقبة المبردرات أصعب من مراقبة الودنات نظراً لكبر كمية مياه التبريد المستخدمة بها وبالتالي الفارق الطفيف في درجات حرارة المياه الخارجة منها والداخلية إليها . وكذلك لعدم إمكان رؤيتها من خلال فتحة النظارة بكوع الودنات . وسوف نتعرض لذلك تفصيلاً في الباب الخاص بمراقبة تشغيل الأفران .

وتشكل جوانب نهاية السطح الخارجى لفتحة الودنة بشكل منحني ، يسمح بتركيب نهاية « ماسورة النفخ » التي تتصل نهايتها الأخرى بمجموعة من التوصيلات ، يمر هواء النفخ اللافع من خلالها إلى ماسورة النفخ فالودنة . إلى داخل الفرن . ويتوقف وقت التشغيل هذه الودنات على حالة الفرن ، وعمر البطانة وظروف التشغيل . ويتراوح ما بين شهر وشهرين ، ولكن قد يصل أحياناً إلى ١٢ شهراً .

مجموعة توصيلات النفخ :

ترفع درجة حرارة الهواء الجوى بوحدة المسخنات الى درجات عالية تبلغ حالياً ١٧٠٠ درجة مئوية ويصل هذا الهواء الساخن ، المسمى الهواء اللافع ، خلال مواسير مبطنة بالطوب الحرارى الى ماسورة الهواء الساخن ، التي تحيط بالفرن وتوجد عند مستوى منتصف الظروف السفلى تقريباً . وهذه الماسورة يبلغ قطرها من ٨٠ إلى ١٥٠ سم ، وهي مجهزة بفتحة مقابلة لكل فتحة من فتحات نفخ الهواء ، مركب عليها فلنشة تتصل بكوع من الحديد الهياتي أو الصلب ، مبطن بمادة حرارية يسمى « الكوع الصغير » ينتهى في ناحيته الأخرى بفلنشتين مثقوبتين توصلان طرفه الآخر « لنهاية الكوع الكبير » المصنوب من الحديد الهياتي ، والذي يستقيم في نهاية طرفه الثانى وينتهى (بمسلوب) يسمح بالدخول في المكان المهد له في نهاية ماسورة النفخ ، وهذا الكوع مبطن بمادة حرارية أيضاً وتوجد في نهاية الجزء المستقيم منه فتحة محورها امتداد لمحور ماسورة النفخ الأفقى ويطلق هذه الفتحة باب مزلق به فتحة تستخدم لإدخال سبيخ من الصلب لتسليك الودنات المفلقة ، هذه والفتحة مغطاة بما يسمى « النظارة » بها فتحة أصغر تغطي بالميكال الملوثة ، تسمح بالنظر خلال الكوع وماسورة النفخ والدفية إلى داخل الفرن ، وبالتالي تتمكن من مراقبة سير العمليات بداخل الفرن في منطقة مستوى الودنات ، الأمر الذي يمكن الصين الخيرة من الحكم على حالة الفرن ويودقة الصهر عامة .

وهذا التصميم يسمح بتمدد أجزاء مجموعة توصيلات الهواء اللافع ، دون السحاح بتفريه نتيجة تتيب كل جزء منها في المكان المهد له بنهاية الآخر . كما أن التجويف يسمح لها بالحركة كوحدة متكاملة وهكذا تتمكن مجموعة التوصيلات هذه من مقاومة الضغط إلى الخارج الذي يسببه زيادة الضغط داخل الفرن .

ويوجد في أسفل الكوع الكبير مكان يركب به شداد مثبت في جسم الفرن ، يمكن عن

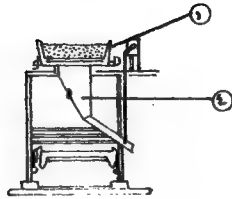
طريقه زيادة تثبيت الجموعة في مكانها وصمودها ضد الضغط الواقع من داخل الفرن .

٣ - الفروط السفلى :

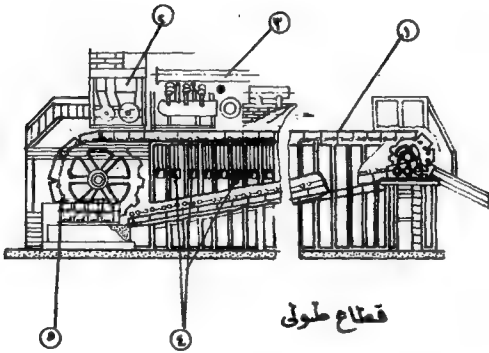
هو منطقة الفرن المصورة بين يودقة الصهر والجزء الأسطواني من الفرن . وهذا الجزء يتعرض لدرجات الحرارة العالية الناجمة من احتراق الكوك أمام الودنات . ولهذا تعتبر هذه المنطقة ، أصعب مناطق الفرن من حيث التصميم ، حيث تخضع ظروف العمليات الميتالوجية التي تتم فيها ضرورة توافر مقاومة كبيرة للحرارة العالية بالإضافة إلى مقاومة القوى الناجمة من الاحتكاك بالمنصهرات الهابطة كما أن عليها أن تقاوم أيضاً تأثير الخبث والحديد . وبسبب انصهار جميع مكونات شحنة الفرن في المستويات التي تملأ هذه المنطقة ، وما يصاحب ذلك من نقص في حجمها ، فلقد اكتسبت هذه المنطقة الشكل الفروطى المميز لها (بقاعدته المتسعة إلى أعلى) حتى تنزلق المنصهرات هذه بسهولة على جوانبه المائلة إلى داخل الفرن . ويحد ميل هذه الجوانب اعتبارات عديدة ، تتمثل في نوع الخام المستخدم ، وحجم الفرن ، وارتفاعه الكلى . لذلك تعتبر زاوية ميل هذه الجوانب من أهم أبعاد الفرن . حيث أنها تتحكم في كيفية هبوط الشحنة بالمناطق التي تملؤها .

ويطحن الفروط السفلى بالطوب الحرارى الصالى الألومينا أو بالطوب الكريونى ، بسبك ثابت . وفي الأفران الحديثة يجرى تبريد مبانى المنطقة هذه باستخدام صناديق تبريد رأسية أو أفقية توضع داخل البطانة . وهذه الصناديق تنفذ بعضها بعضاً في مجموعات متناسقة بجياه التبريد . أما في حالة استخدام الطوب الكريونى فيتم التبريد عن طريق رشاشات المياه التي تسقط كميات كبيرة من المياه على سطح الصاج الخارجى المغطى للمبانى ويبلغ سمك البطانة في هذه المنطقة من ٨٠ إلى ١٠٠ سم ، ويغلفها صاج الفرن الذى يبلغ سمكه من ٤٠ إلى ٦٠ سم .

وفي الأفران المصممة وفقاً للنظام الأمريكى (أنظر الشكل ١٥) يحيط بالفرن ، في مستوى سطح نهاية الفروط من أعلى ، هيكل معدنى من الصاج والزوايا والكرس القوى المتناسك يسمى الحزام . وهو يحمل كل مبانى الفروط العلوى ، وهياكل الأدوار ، وجسر الشاحن ، ولة الفرن . ويرتكز على مجموعة من الأعمدة المثبتة (يعادل عددها نصف عدد الودنات المستخدمة) ترتكز بدورها في نهايتها على قاعدة الفرن الأساسية . وفائدة هذا النظام أنه يقسم الفرن الى جزئين منفصلين عن بعضها بعضاً تماماً في التحميل ، ما



قطاع عمودي



قطاع طولي

الشكل ١٠ - مكتبة التلبيد

المخروط السفلى وبودقة الصهر كوحدة وباقي الفرن كوحدة أخرى . وبذلك يمكن إجراء الصمرات والإصلاحات بالجزء الأول دون حاجة بالمرّة إلى المساس بباقي الجزء الثاني وهو اتجاه يفضلها العاملون بالأفران العالية .

٤ - الجزء الأسطواني - البرميل :

وهو الجزء الذي يصل ما بين المخروط العلوى والمخروط السفلى ، ويتكون من أسطوانة ملتفة من الصاج ، ويبلغ ارتفاعها ما بين ١,٥ إلى ٢,٥ متر . وقطرها هو أكبر قطر في الفرن العالى ، ويتراوح ما بين ٦ و ١٨ متراً حسب حجم الفرن وزاوية ميل وارتفاع المخروط السفلى .

وقديماً كانت هذه المنطقة غير موجودة بالفرن ، حيث كان المخروط العلوى ينتهى ببداية المخروط السفلى مباشرة . غير أن التجارب أثبتت أن هذه التحول المفاجيء ، يؤثر تأثيراً مباشراً على كفاءة هبوط الشحنة بالفرن . كما ثبت من نتائج الاختبارات الصديدة على البروفيل النهائى لطبانة الفرن عند انتهاء عمرها ، أن البطانة تتآكل بصورة كبيرة بحيث يصل شكل الجزء عند نقطة التقاء المخروطين فى النهاية إلى هذا الشكل الأسطوانى .

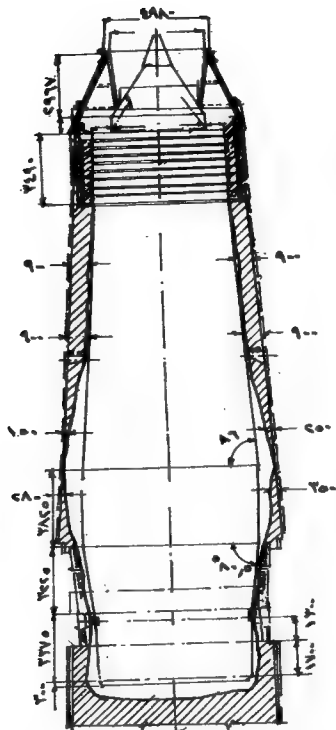
(شكل ١٦)

وسواء كان مستواه أعلى من هذه النقطة أم عندها (أثبت بعض التجارب وجوده فى منطقة أعلى من نقطة الالتقاء هذه) ، (شكل ١٦) إلا أن هذه الأسباب جميعها دفعت المصممين فى السنوات الأخيرة إلى الأخذ بها ، وأصبحت منطقة الأسطوانة جزءاً من الأفران الحديثة .

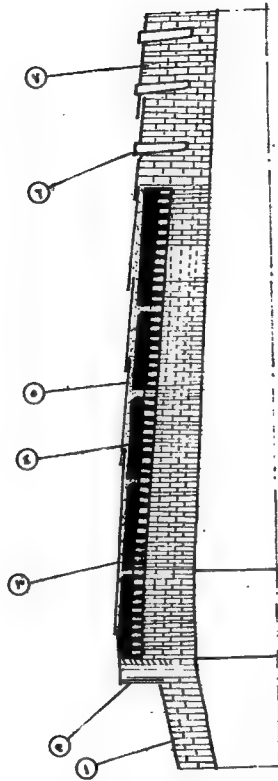
٥ - المخروط العلوى :

هو الجزء المصور بين الأسطوانة وحلق الفرن ، وهو أكبر أجزاء الفرن حجماً ، حيث يبلغ تقريباً نصف حجم الفرن الكلى أو أكثر وتعرض شحنة الفرن خلال هبوطها فى هذا الجزء ، لتغيرات فيزيقية وكيميائية نظراً للتباين الكبير فى درجات الحرارة بين أعلى المخروط وأسفله من أهمها :

١ - زيادة حجم المشحونات بسبب تمددها نتيجة لتحلل غاز أول أكسيد الكربون وتأثيره عليها .



شكل ١٦ - تأكل جبانة الفرون العالي ومعدلاتها جانا حلقه المختلفة
(عند التأكل بمنطقة الرمل بأرض الخردل العلوي وجوانه وقاع وقاع (صهر)



شكل ١٧ - المخروط العلوي ومبردات البطانة

٢ - التغيرات التي تحدث بسبب التفاعلات الكيميائية بالفرن العالى . لذلك اكتسب هذا الجزء من الفرن شكله القروطى المتزايد الاتساع في اتجاه هبوط الشحنة .
ولقد أدى التباين الكبير في درجات الحرارة في المستويات المختلفة للمخروط العلوى إلى امكان اعتباره مكوناً من ثلاث مناطق متساوية الارتفاع هى العلوية والمتوسطة ، والسفلى . وتم في المنطقة السفلى معظم التفاعلات ، حيث تبدأ الشحنة - عند نهايتها - في الإنصهار . وهذا التقسيم تتبعه تغيرات في نوعية الطوب الحرارى المستخدم في البطانة حتى ين بالمتطلبات التى تستلزمها طبيعة العمليات الميتالورجية التى تتعرض لها الشحنة في كل منها . وقد استتبع ذلك تغيرات في نوعية وسمك البطانة الحرارية - حيث يتراوح ما بين ١٢٠ سم في المنطقة السفلى و٦٠ سم في المنطقة العلوية - وتجرى عملية تبريد الطوب الحرارى المستخدم بواسطة المبردات التى ترص في صفوف أفقية متتابة بنفس تنظييات القروط السفلى (التى توضع داخل طوب البطانة) أو باستخدام صناديق التبريد الأفقية والرأسية . (الشكل ١٧) وتطف البطانة بصاج سمكه من ٢٠ إلى ٣٠ مم على هيئة ألواح ملحومة حيث تبت أن اللحام يزيد من تماسكها ومتانتها . كما أنه أخف وزناً بالمقارنة مع الألواح المربوطة بسمامير ، والى كانت تستخدم قديماً .

٦ - الحلقى أو الزور :

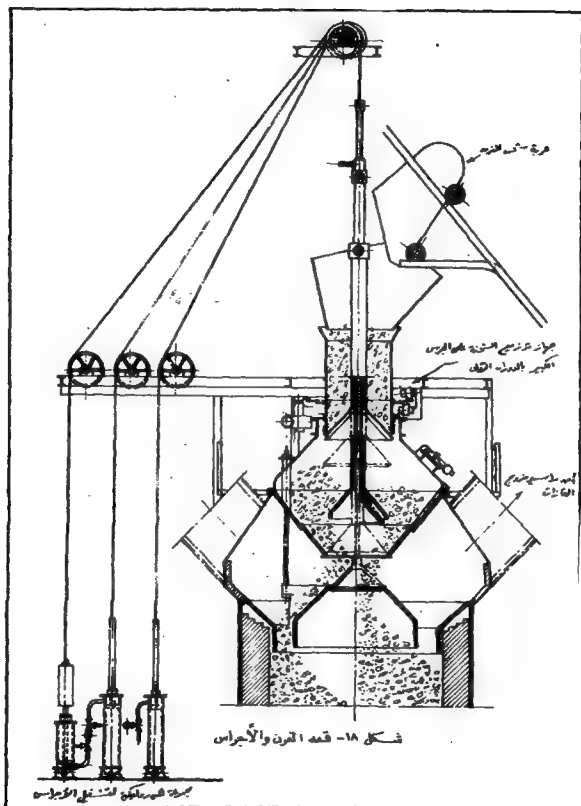
هو أعلى جزء من القروط العلوى وترتطم بمجراته المشحونات عند هبوطها من على الجرس الكبير إلى داخل الفرن . وكان هذا الجزء يبنى قديماً بالطوب الحرارى المخلف من داخل الفرن بصاج سميك ، يقاوم إحتكاك المشحونات بجدار الفرن . ثم استخدمت صدمة من ألواح صاج ملحومة بشكل أسطوانة ارتفاعها ٣ - ٤ أمتار وبقطر أقل من قطر القروط في هذه المنطقة بحوالى ٣٠ سم . وهى تعلق داخل الفرن في مستوى أقل من مستوى فتحة الجرس الكبير بحيث ترتطم بها المشحونات عند هبوطها . ونظراً لتأثير ذلك على توزيع شحنة الفرن ، وسطحها . وبالتالي على تشغيل الفرن ، بالإضافة الى ماتطلبه إصلاحاتها الكثيرة من متاعب ، فقد استبدل بها حالياً ما يسمى بنظام التسليح أعلى الفرن . وفيه يبنى الجزء العلوى من القروط العلوى ، على بعد حوالى ٣ - ٤ أمتار من أعلى الفرن ، مجموعة من كتل الصلب على المنجنيز المصبوبة بسبك يبلغ ٦٠ إلى ٨٠ سم وارتفاع يبلغ ١٥٠ إلى ٢٠٠ متر . وقد يمتد عمرها بطول فترة تشغيل البطانة ولا تحتاج

بطول فترة تشغيل البطانة ولا تحتاج إلى إصلاحات. ويجب عند تركيبها أن تكون في مجموعة مكونة بشكل أسطواني متمركز مع محور القرن تماماً.

٧- لفة القرن العالي:

يحمي غاز الأفران العالية نسبة عالية من غاز أول أكسيد الكربون الخافق القابل للاشتعال، لذلك يجب المحافظة عليه ومعالجته بالاحتياطات البالغة، لتأمين سلامة العاملين من الإختناق أو من الانفجارات التي تتبع اشتعال هذا الغاز فجأة عندما تنهأ الظروف لذلك. يمثل الغاز مصدراً رئيسياً من مصادر الطاقة اللازمة لتشغيل مصانع الحديد والصلب، لذلك يلزم الحفاظ عليه وتخزينه لحين استهلاكه بالأمان الكافي، ولهذين السببين، كان من الضروري التفكير في تجميعه في مسارات خاصة يمكن الهيمنة عليها كلية، ولقد بدأ التفكير منذ زمن بعيد، في إغلاق فتحة القرن العليا في غير أوقات الشحن، وتجهيز القرن في أعلاه بمجموعة من المواسير التي تتركب في مستوى أقل من مستوى فتحة الجرس الكبير، لتكون مساراً للغازات حتى مكان استخدامها. ومع استمرار التعديلات والتقدم التكنولوجي أمكن الوصول إلى الشكل الحالي لفة القرن، (الشكل ١٨).

ويأخذ شكل الصاج المغلف للمخروط العلوى عند نهايته العليا في الانساع، ثم الضيق، مكوناً جوانب مخروطين ناقصين متلاحمين بقاعدتيهما الكبيرتين في مستوى أعلى قليلاً من مستوى الجرس الكبير في حالة الإغلاق، وحيث قطر قاعدة المخروط السفلى الصغيرة، تعادل قطر القرن في نقطة الحلق، وقاعدة المخروط العلوى الصغرى تكون فتحة القرن العليا وهي بقطر أصغر من قطر الحلق، تكون هذه قاعدة تركيب عليها بقية أجهزة الشحن، الأمر الذي سبب الإقلال من تسرب الغاز إلى الجو. وتوجد بجوانب المخروط العلوى أربع فتحات تسمى «الماخذ»، تتصل بأربع مواسير رأسية تتجمع كل إثنين منها في ماسورة أخرى رأسية تسمى ماسورة «القبة»، وفي منتصف كل منها تقريباً فتحة تتصل بها ماسورة مائلة تلتقي بالماسورة من الجانب الآخر ليكونا ماسورة الغاز المسماة بماسورة «البنتلون»، التي تتصل من نهايتها الأخرى بمجمعات أثرية الغازات، ويتراوح قطر هذه المواسير ما بين ٨٠ و ١٢٠ سم، ويراعى عند تصميمها الدقة البالغة.



تصميم القرن العالي

الأفران العالية من الوحدات الصناعية التي تعرض تصميمها للكثير من التغيرات منذ بدء العمل بها حتى وقتنا هذا. وكان التغير ناجماً عن التطور الذي استوجبه التقدم التكنولوجي عامة، والخبرة العملية في تشغيلها خاصة.

ولقد أدى ذلك الى تأثر شكل القرن بـجغرافية الموقع. فأصبح هناك التصميم الشائع الخاص بالأفران الأمريكية، والتصميم الذي انتشر بين بلدان الدول الأوروبية. وفي النوع الأول يحمل المخروط العلوى على أعمدة متصلة في نهايتها الأخرى بقاعدة القرن (الأساس)، في حين يحمل الصاج المغلف للمخروط، وحدات القمة وجسر الشحن والمسارات الدائرية حول الأفران عند المستويات المختلفة. ويبقى النوع الآخر مستقلاً، حيث تحمل أربعة أعمدة ضخمة مثبتة في أساس القرن، كل معدة القمة والمعدات المساعدة، بدلاً من صاج القرن في التصميم الأول.

ويعتبر التصميم الأمريكي، المرحلة النهائية من عدة مراحل تطوير أولها «الأفران المربوطة». التي كان المخروط العلوى بها يبقى من طوب حرارى يغلف من الخارج بألواح من الصاج يلف حولها شريط من الصلب، يربطها في صفوف يعلو بعضها بعضاً، بينما تغلف بودقة الصهر والمخروط السفلى بصاج مربوط بـسامير. وآخرها «الأفران المدرعة» وفيها تحيط ألواح الصاج السمكة الملحومة معاً بالطوب الحرارى، إحاطة تامة.

ولنقص الخبرات العملية والتكنولوجية، تعرض تصميم الأفران قديماً للعديد من التغيرات التي لم تكن تستند الى الدليل العمل الواقعى. وهناك خلافات عديدة في الرأى - لا تزال قائمة حتى الآن - فيما يختص بمدى تناسب أبعاد الأجزاء المختلفة للقرن أنظر الشكل (٢٥). ويرجع ذلك أساساً الى عدم تطابق نتائج الاختبارات والفحوص التي تجرى على الأفران في نهاية أو في خلال فترة تشغيلها مع النتائج حصيلتها الخبرة العملية.

غير أن التطور العلمى والعمل، وتوالى الاختبارات وربطها بالواقع العمل، مكن من التعرف على العديد من التغيرات التي يتعرض لها شكل القرن خلال فترة تشغيله. ففقد اتضح أن كل أبعاد القرن تتعرض للتغير، بحيث يختلف شكل القرن بعد التشغيل عنه عند التصميم وكمثال، لذلك، التغير الناجم عن زيادة الإقطار المتوسطة به مثل قطر الأسطوانة

الذى يتسع كثيراً ، وكذلك التغير فى ارتفاع المخروط السفلى ، وهو البعد بين حافة بودقة الصهر العليا ، وأكبر قطر فى المخروط العلوى الخ ..

ولقد أثبتت التجارب أن نوعية وكمية هذا التغير تعتمدان على بعض نواحي التصميم للفرن ، كتصميم دورة تبريد الطوب الحرارى ، أو على ظروف التشغيل ، كتوزيع تسحنة الفرن وكيفية هبوطها ، وسار الغازات الصاعدة التى تتأثر بأبعاد الفرن التصميمية الأصلية ، كقطر الحلق ، وقطر الجرس الكبير وقطر بودقة الصهر .

ويأخذ الإعتبارات العديدة المحيطة بالتشغيل ، والناجمة عن طبيعة العمليات الميتالورجية التى تتم بالفرن العالى ، يمكن القول بأن بعض أبعاد الفرن تتعرض إلى أقل القليل من التغير ، ويمكن اعتبارها ثابتة بطول عمر تشغيل بطانة الفرن الأصلية وهذه الأبعاد هى قطر الحلق وقطر بودقة الصهر وارتفاع البودقة ، وارتفاع الحلق ، والارتفاع النافع للفرن . أما بقية أبعاد الفرن - وإن اختلفت فى معدل تغيرها - تكون ثابتة فقط ، قبل بدء نفخ الفرن .

وكل الحقائق المذكورة عالياً ، أتت نتيجة البحث المرقى المتواصل ، للوصول إلى معرفة حقيقة مايدور بداخل الفرن من عمليات خاصة وأن الفرن العالى بوضعه المغلق ، لم يقدم المساعدة الفعالة للباحثين . ولقد تطلب ذلك منهم أن يحددوا أولاً وقبل كل شئ المهام التى يجب أن تؤديها الأفران ، مع مراعاة الاعتبارات التكنولوجية للعمليات التى تتم بها . وكان من اللازم أن تؤخذ فى الاعتبار حصيلة الخبرة العملية السابقة فى تشغيل الأفران ، حيث أن مؤشرات الأداء عديدة وتتطلب الاهتمام بدراسة كل منها . ولقد أمكن تلخيص كل ذلك فى الآتى :

- ١ - يجب أن يحرق الفرن الكمية المحددة له من الكوك .
- ٢ - يجب أن تتوفر إمكانية استغلال الغازات الصاعدة بالفرن فى عمليات تسخين المشحونات ، واختزال الحديد وبعض العناصر الأخرى الموجودة بها .
- ٣ - يجب الحصول على المعدن الناتج عن عملية الاختزال فى حالة سائلة ، تضمن سحبه من الفرن وتسمح بنقله إلى المستهلك ، مع تخلصه من الشوائب بالقدر المسموح به فى عمليات الأفران العالية .
- ٤ - يجب تجميع شوائب الخبثات المستخدمة ، ورماد الكوك فى صورة خبث سائل ، يمكن سحبه من الفرن ونقله

٥ - يجب أن يتحقق التشغيل الاقتصادي، وخاصة فيما يتعلق باستهلاك يجب أن يتحقق التشغيل الاقتصادي، وخاصة فيما يتعلق باستهلاك الكوك وذلك بالموازنة بين معدل هبوط الحامات المشحونة بالفرن، وانتظامه، وتساعد الغازات وتخللها لها .

من ذلك يتضح أنه للوصول الى الحديد والحطب بحالتها السائلة المطلوبة، تتعرض شحنة الفرن إلى تغيرات عديدة فيزيقية وكيميائية، وللتمكن من الحصول على النتائج بصورتها المطلوبة، يجب أن يتم كل تغير من هذه التغيرات في مكان محدد بالفرن، وأن ينتهي تماماً في هذا المكان قبل أن تنتقل منتجات إحدى المراحل إلى المرحلة التي تليها. وبالتالي فإنه لا يمكن الإسراع بإنهاء العمليات في منطقة معينة بالفرن دون التأثير على ما يسبقها ومايلها من مراحل. ومنه يتضح أن كل جزء بالفرن العالي في اتجاه هبوط الشحنة يجب أن يصمم بالصورة التي تؤكد انتهاء التغيرات المطلوبة فيه والمحددة له، وبالتالي فهو مرتبط بالجزء الذي يملوه وأيضاً مرتبط بالجزء الذي يليه. ويعنى ذلك أنه يجب أن يحدد الحجم النافع لكل منطقة بدقة تامة، وأن يخضع للقوانين التكنولوجية الثابتة.

وحيث أن إنتاجية أى فرن - وهى مقياس لإتمام العمليات التي تتوالى في مناطق الفرن المختلفة - تكاد تكون ثابتة عند تشغيل هذا الفرن تحت ظروف متماثلة، فإن ذلك يعطى الدليل على أن أحجام مناطق الفرن المختلفة قد ارتبط بعضها ببعض بعلاقات ثابتة محددة كفلت إتمام العمليات اللازمة في كل منها تماماً.

ويعنى كل ذلك أن هناك حقيقتين يجب تحقيقها عند تصميم أى بعد بالأفران العالية وهما :

١ - أن يكون هناك تناسق تام في شكل الفرن عامة، وشكل كل منطقة به، بما يتناسب وما يتم فيها من عمليات، فمثلاً، مع بدء تشغيل الفرن تتغير كل معالم أبعاده التصميمية نتيجة تآكل البطانة الحرارية المحدودة له في مناطق عديدة. وتبلغ زيادة الحجم الناجم عن الحجم الأصلي التصميمي بعد سنتين حوالى ١٥٪ تقريباً، ويعتمد ذلك على تصميم معدات تبريد الفرن.

٢ - أن تربط كل مناطق الفرن بعضها ببعض بعلاقات ثابتة تمكن الفرن من أداء وظيفته.

وأبعاد الفرن ومناطقه التي ينبغى الإحاطة بتصميمها هى :

- ١ - حجم الفرن النافع ، والتالى نسبة الفرن .
- ٢ - ارتفاع الفرن النافع .
- ٣ - حلق الفرن .
- ٤ - المخروط العلوى ، والمخروط السفلى ، والأسطوانة .
- ٥ - بودقة الصهر .

ورغم الجهودات التى بذلت فى هذا المجال ، تضاربت الآراء واختلفت بين العلماء والباحثين فى جميع بلدان العالم ، بحيث أصبح من الصعب تحديد علاقة يتفق الجميع عليها بين كل جزء من الفرن والجزء الآخر .

غير أننا نورد فيما يلى بعضا من هذه العلاقات التى أمكن التوصل إليها وهى أن كانت فى الواقع تمثل فيما بينها تفاوتات قد لا يكون مقبولا فى بعض الأحيان ، إلا أنها ولا شك ذات فائدة كبيرة فى تحديد المدى الذى تنحصر فيه القيمة المثالية ، وبالتالي فهى تكتسب قيمتها كدليل يمكن الاسترشاد به .

١ - حجم النافع للفرن :

وهو حجم الفرن الذى يشغل بالمشحونات الصلبة والمنتجات السائلة أو بعبارة آخر حجم الفرن فى المنطقة بين مستوى الشحنة بالفرن ومستوى فتحة الحديد . وهو الجزء المستخدم فى عمليات الفرن . ويعتبر من الأبعاد الهامة والمحدودة للطاقة الإنتاجية للفرن لذلك فقلقد حاول العديد من العلماء والباحثين وضع العلاقات التى تربط بينه وبين بقية أبعاد الفرن الأخرى وبينه وبين الظروف المحيطة بعمليات الانتاج . ومن أوائل هؤلاء جولد سبريخ وتروسال اللذان ربطا بين هذا الحجم ، وقطر الأسطوانة ، والارتفاع للكل للفرن - وهو الارتفاع من فتحة الحديد حتى مستوى الشحن أعلى الفرن - بالعلاقة الآتية .

$$ح = ث . ع . ق$$

حيث :

$$ح = الحجم النافع للفرن$$

$$ث = ثابت يتوقف على الإرتفاع الفرن الكلى ، ويتراوح ما بين ٠.٤٧ - ٠.٥٣$$

$$ع = الإرتفاع الكلى للفرن .$$

ق = قطر نهاية الخروط العلوى || قطر الحلق || .

وقد حددا الإرتفاع الكلى للفرن والقمة بحوالى من ٢٢ الى ٢٥ مترا .

ويحدد الجانب الآخر من العاملين بالأفران العالية حجم الفرن النافع بالعلاقة التالية :

$$ح = \frac{1}{4} \pi$$

حيث :

ح = الحجم النافع العامل للفرن .

ك = كمية الكوك المحترقة بالفرن كل ٢٤ ساعة من التشغيل المنتظم المستمر المنتظم .

م = كمية الفحم المحترقة لكل ٣م من الحجم النافع للفرن كل ٢٤ ساعة من التشغيل المنتظم المستمر .

وحيث أن كربون الكوك هو المورد الأصل للطاقة التى تتحكم فى مدى تقدم العمليات بالفرن ويمكن القول بأن معدل استهلاك الكوك لكل وحدة زمنية هو فى الحقيقة مقياس أو مؤشر لمدى هذا التقدم واستمراره .

وتختلف هذه الكية فى بلدان العالم المختلفة . فهى محددة بكية ٩٠٠ كجم فى أمريكا ، بينما هى ١٢٠٠ كجم فى الإتحاد السوفيتى وهذا الاختلاف نابع من أن الحجم المأخوذ فى الحسابات اليومية العادية هو الحجم التصميمى الأصل للفرن ، وليس حجم الفرن الفصالح الحقيقى . ولهذا تعتبر القيمة المحددة من العاملين بأفران الإتحاد السوفيتى خاصة أكبر من القيمة الحقيقية .

ولقد حدد ج . ج ارشكن هذه القيمة بمقدار ١٠٠٠ الى ١١٠٠ كجم / ٣م حيث تقترب القيمة من ١١٠٠ كجم / ٣م / ٢٤ ساعة تشغيل كلوا تقاربت وتناصقت أبعاد الفرن المختلفة من أبعادها المثالية .

٢ - الإرتفاع النافع للفرن :

أجمع العاملون بالأفران العالية والباحثون على تأثير خواص الكوك وقدرته على مقاومة الاحتكاك وتقبل التحميل ، وكذلك تأثير خواص بقية مكونات الشحنة ، فى تحديد قيمة هذا الإرتفاع بما يتناسب وهذه الخواص من ناحية وتحقيق أكبر فائدة من الغازات المساعدة فى

اختزال وتجهيز الشحنة الهابطة من ناحية أخرى ، ولقد حدد بالقوت الروسى هذا الارتفاع بمقدار يتراوح ما بين ٢٠ - ٢٧ مترا بينا حدده ا. ن رام الروسى أيضا بالعلاقة التالية :

$$ع = ١٦٤٤ - ٠.٣٥$$

حيث ع = إرتفاع النافع للفرن ، ح الحجم النافع للفرن .
التي تربط بين الحجم النافع للفرن وارتفاعه النافع لما بينها من ترابط قوى وضمان لضرورة التنسيق بين متطلبات التشغيل التي يجب أن يحققها كل منها وعليه أصبح إرتفاع الفرن النافع للفرن حجة ٦٠٠ متر مكعب = ٢٣ر٣ مترا بينا يبلغ ذلك الارتفاع ٢٧ر٨ لفرن بحجم لافع ١٥٠٠ متر مكعب ويلاحظ أن هذه النتائج في تناسق تام مع نتائج بالقوت الروسى .

ويأخذ متطلبات العمليات الإنتاجية في الاعتبار وتحول الشحنة الصلبة أعلى الفرن الى ناتج في حالة السيوالة في أسفله فلقد ظهر رأى آخر يربط بين الإرتفاع النافع للفرن بين هذه المتطلبات . وهذا الرأى يحدد ضرورة أن لايزيد الارتفاع عن ٢٤ مترا حيث حدث نتيجة زيادة إرتفاع الفرن على هذا القدر لبعض الأفران الكثيرة أن كان إنتاجها أقل من الإنتاج المتوقع لها ، وهذا الى مانطلبه زيادة هذا الارتفاع من خواص للكوك المستخدم قد يصعب الحصول عليها .

٣- حلق الفرن أو الزور :

يؤثر توزيع الشحنة بأعلى الطريق الذى تخترقه الغازات الصاعدة لذلك فإن هذا التوزيع أمر بالغ الأهمية تكنولوجيا . وتلزم مراعاة الدقة التامة عند تصميم حلق الفرن لتوفير أفضل الظروف لهذا التوزيع ، رغم ماهو معروف عمليا من من إستطاعة الفنيين التحكم في هذا التوزيع بوسائل الشحن وطرقه المتعددة .

ولقد تعرض بعض الباحثين لدراسة أبعد الحلق وعلاقته بقطر الجرس الكبير ، منهم « ماكينزى » الذى حدد قطر الجرس الكبير بالعلاقة الآتية :

$$\text{لوق} = ٢٤٢. \text{و} \times \frac{\pi}{4} + ٧٤٢٨. \text{و}$$

ق = قطر الجرس الكبير ، م = الإنتاج اليومى للفرن بالطن ويزيد قطر الحلق عن قطر الجرس بمقدار ١٢٥ الى ١٥٠ سم .

ولكن بعض الباحثين الآخرين ربط بين مساحة حلق الفرن ومساحة منطقة احتراق

الكوك أمام الودانات ، حيث أن هناك تؤثر في سرعة وكيفية هبوط الشحنة داخل الفرن . ومعنى ذلك أن هناك علاقة ثابتة بين قطر لودقة الصهر وحلق الفرن ، ليس فقط لأنها بعدان لا يتأثران كثيراً بتقدم القرن ، ولكن لضمان نسبة معينة بينها وبالتالي بين مساحة الفرن عند مستواها لتحقيق أقصى الفوائد العملية .

وقد حدد راييس هذه العلاقة بتساوى مساحة الحلق ومساحة منطقة الإحتراق بينا حدها
 ++ ج . ارشكن نتيجة تجاربه ودراساته لبعض الأفران بالاتحاد السوفيتي التي تتميز بإتزان حرارى جيد بالعلاقة التالية :

$$\text{قصر} = 0.8 \cdot \text{قصر}$$

حيث ق م قطر الزور قصر قطر بودقة الصهر

ونظرا للعلاقة الوطيدة بين قطر الحلق وقطر الجرس الكبير ، فقلد تعرض العديد من العلماء لدراسة هذه العلاقة ومنهم دى فاتر ، الذى حدد أن مساحة الجرس الكبير تعادل $\frac{1}{8}$ مساحة الحلق غير أن هذه العلاقة تصلح فقط للأفران الصغيرة دون الكبيرة .

أما بافلوف فقلد اعتبر أن علاقة « دى فاتر » صحيحة للأفران حتى قطر خمسة أمتار ، وحدد الفارق بين قطر الجرس الكبير وقطر الفرن بمقدار ١٢٣ متر للأفران التي يبلغ قطر الجرس الكبير فيها ٤٦ متر (أفران مصانع ماجنيتو جورسك الروسية)

وحدد ج .ج ارشكن هذا الفارق بين قطر الحلق وقطر الجرس الكبير بمقدار يتراوح ما بين ١٢ - ١٦ متر وتستخدم القيمة الأقل في حالات الخامات الخامات غير المجهزة ، بينا تستخدم القيمة العليا في حالات استخدام الخام الحشن أو اللبد .

ورغم هذا التباين الكبير بين آراء العلماء والباحثين في تحديد أبعاد قطر الحلق إلا أنهم لم يختلفوا كثيراً في تحديد ارتفاعه الذى حددوه بقيمة تتراوح ما بين ٢٥ و٣٠ أمتار وأخذ ج .ج ارشكن معادلا ٢٦ متر في حساباته للارتفاع النافع للفرن .

٤ - المخروط العلوى - الأسطوانة والمخروط السفلى :

تسخن المواد بأعلى الفرن العالى صلبة وفي درجة حرارة عادية ، ثم تتوالى عليها التغيرات الكيميائية والفيزيكية خلال هبوطها بالفرن . فتزداد حرارتها ، وبالتالي يزداد حجمها نسبياً بترسيب الكربون ، ثم تصهر وتخزل نسبياً فتتسلك ، ثم تتحول الى السيولة في

درجات الحرارة العليا . وفي المنقة الاحتراق أمام الودينات يتحول الجزء السلب الباقى منها (الكوك) إلى غازات . ولكى يقابل تصميم الفرن هذه المتطلبات اتخذ شكله الحالى حيث يبدأ فى أعلاه ويتنهي بأسفله بأقل الأقطار ، بينما تزيد أقطاره فيما بينها .

ويتحكم هذا التحول من الحالة الصلبة إلى السائلة فى تحديد التحول من المخروط العلوى إلى الأسطوانة إلى المخروط السفلى ، إذ أنه من المعروف أن سيولة المواد الهابطة تتحسن كلما كان منبعها المستويات المنخفضة من الفرن . ولكن حيث أنه يتحتم تهيئة الجو للغازات الصاعدة كى تتسلل خلال الفجوات الموجودة بين المشحونات الصلبة (الكوك) بسهولة . وأن لاتلقى مقاومة كبيرة من تماسك المشحونات السائلة جزئياً ، فإن هذا يتطلب أن تتم هذه الإزالة فى مستويات أعلى بالفرن . ولكى يتم التوفيق بين المطلبين ، يجب أن يكون التحول من المخروط العلوى الى المخروط السفلى عند المنطقة التى يزداد فيها تحول المواد الصلبة الى الحالة السائلة ، حتى تنساب هذه الى المناطق التى تحتها تاركة فجوات تسهل مرور الغازات الصاعدة . إذ لو حدث هذا التحول فى منطقة منخفضة عن الموضع المفروض لها فإن ذلك سيسبب وصول مشحونات لم يتم بعد تجهيزها الى هذه المنطقة المخرجة بالفرن ، مما يؤثر على الإيزان الحرارى للمنطقة ، ويسبب ارتباطاً للعمليات الميتالورجية والإنتاج ونوعيته . كما أنه لو حدث هذا التحول فى منطقة تملو المكان المفروض فعنى ذلك أن توجد مواد لم يكتمل إصهارها وسيولتها فتتسبك مع بعضها بعضاً وتسبب تطبيق شحنة الفرن وصحوبة احتراق الغازات الصاعدة لها . ولما كان من الصعب تحديد مستوى معين يمكن أن يقال أنه الفاصل بين ما يملوه من مواد متاسكة ، وما بأسفله من مواد لدنة أو سائلة فلفقد وضع الجزء الأسطوانى الذى يملو المخروط السفلى ، الذى يملوه المخروط العلوى ، وسعى هذا الجزء الأسطوانة أو البرميل .

وبالنسبة لتأثير هذا الجزء على تسلسل الصلبيات والتفريعات الفيزيائية والكيميائية للمشحونات ، وباعتبار أنه أكبر أقطار الفرن ، فلفقد لى الكثير من الإهتمام من الدارسين والباحثين .

وقد ربط بعض الأمريكين العلاقة بين قطر الأسطوانة وقطر بودقة الصهر بالملاقة الآتية :

بينما حدد الأوروبيون هذه العلاقة كالآتي :

ولقد حدد اريشكن قطر الأسطوانة بالعلاقة التالية :

حيث :

ح/ حجم المخروط العلوى والسفلى معا
نق/ نصف قطر الأسطوانة .
نق/ نصف قطر بودقة الصهر

أما فيما يختص بارتفاع المخروط السفلى فقد حددته م.م باقلوف متفقاً مع القيمة التى حددتها الأمريكيون لهذا الارتفاع وقدرها ٣.٠ إلى ٣.٥٠ أمتار . أما أريشكن فقد حدد ارتفاع المخروط السفلى + ارتفاع الأسطوانة معاً بمقدار ٦.٠٠ أمتار ، وهو لا يختلف كثيراً عن سابقه .

وتعتبر زاوية ميل المخروط السفلى خامة ، حيث تتحكم فى مدى تحميل عامود الشحنتات أعلاها على جوانب المخروط وتحدد قيمتها بمقدار ٧٦ إلى ٨٠ درجة مئوية .

أما ارتفاع المخروط العلوى فلقد ربطه العديد من الباحثين بالعلاقة الآتية :

ارتفاع المخروط العلوى = الارتفاع الكلى - (ارتفاع الحلق + ارتفاع البودقة + ارتفاع المخروط السفلى والأسطوانة) وهو حسب مذكره اريشكن يعادل ١٢.٠٠ متراً تقريباً .

وتعتبر زاوية هذا المخروط عن الأفق من أهم أبعاد الفرن . ولقد حددتها م.م باقلوف بقيمة ٨٥ درجة مئوية عند استخدام خامات هشة أو تحتوى نسبة عالية من النواعم و ٨٧* عند استعمال الخامات الخشنة الصلبة .

٥ - بودقة الصهر :

فى رأى العديد من العلماء أن أبعاد بودقة الصهر هى التى تحدد إنتاجية الفرن الصالى . ذلك أن مساحة بودقة الصهر تحدد كمية الكوك التى تحترق فى فترة زمنية محددة . ولو أن

ذلك يعتمد أيضاً على كمية الهواء المنفوخ. وأهم المتطلبات التي يجب أن يحققها التصميم المختار لبودقة الصهر مايلي :

- ١- أن يتسع لكمية محددة من الحديد والحثث السائلين .
- ٢- أن يتيح الفرصة لحرق الكمية المحددة من الكوك لكل وحدة زمنية .
- ٣- أن تتم كريمة المعدن المنصهر وتخليصه من الكبريت ما أمكن .

ونظراً للأهمية التي تتفرد بها هذه المنطقة بسبب تأثيرها على إنتاجية الفرن ، فلقد تعرض العديد من الباحثين لتصميمها ، ووضع العلاقات المحددة لها ومن أولهم ستيفنسون الذي ربط بين إنتاج الفرن وبين قطر بودقة الصهر بالعلاقة الآتية :

$$Q = 31.8 \text{ م}^2$$

$$M = \text{كمية الإنتاج بالطن في اليوم}$$

$$D = \text{قطر بودقة الصهر.}$$

$$D = \text{قطر بودقة الصهر}$$

كذلك حدد ماكيزي العلاقة بين قطر بودقة الصهر وبين الإنتاج اليومي نتيجة اختباره التي أجراها على ٢٥ فرنًا عالياً تعمل بأوروبا بالعلاقة التالية :

$$Q = 0.266 \text{ م}^2 \text{ لو } 0.8526 + \frac{1}{24}$$

ومن الملاحظ محاولة كل منها ربط أبعاد بودقة الصهر بالإنتاج اليومي للفرن أما الباحثون الآخرون فلقد حاولوا ربط أبعاد بودقة الصهر بكمية الفحم التي يمكن احتراقها لكل وحدة مساحة من سطح بودقة الصهر لكل ٢٤ ساعة ، وبين كمية الفحم اللازمة لإنتاج طن من الحديد . ومنهم ماكزي ، وجولد سبروخ ، وتروستال ، وبافلوف . ونتيجة لاختباراتهم فقد حددوا هذه الكمية بمقدار ٦٦ الى ٧٦٠ كجم /م^٢ في كل ساعة .

وحدد بافلوف أقطار بودقة الصهر لمجموعة من الأفران تتراوح سعتها بين ٥٥٠ و ١٢٥٠ م^٣ غير أنه لوحظ أن الأبعاد الناتجة من تطبيق علاقة بافلوف كانت أكبر من الموجود حالياً بالصناعة ، وخاصة للأفران ذات الإنتاج بين ٦٠٠ - ١١٧٥ طن/ يوم . ويمكن تحليل ذلك بانخفاض معدل احتراق الكوك الذي استخدمه عن المعدل الفعلي

السارى حالياً والذي يبلغ ١٢٥٠ كجم/م^٢ من مساحة بودقة الصهر لكل ساعة وهو الذى يتم فى غالبية الأفران بإنتاجية ٦٠٠ حتى ١٢٠٠ طن يومياً . وكان المعدل الذى اقترحه بافلوف يقل بنسبة ٣٠٪ عن ذلك المعدل .

و بتطبيق المعدل الحالى لوحظ أن النتائج التى حصل عليها تقاربت مع نتائج تطبيق نظرية بافلوف للأفران الحالية . وبناء عليه تمكن ج . ج اريشكن من وضع العلاقة التالية :

$$Q = \frac{K}{\sqrt{S}} = \frac{K}{\sqrt{0.785 \times 3.0}} = \frac{K}{22.05}$$

ق م = قطر بودقة الصهر ك = كمية الفحم المحترقة / ٢٤ ساعة
حيث ٣٠ = ١.٢٥٠ × ٢٤ = كمية الفحم المحترقة / م^٢ ٢٤ ساعة

$$\frac{3.14}{4} = \frac{K}{4} = 0.785$$

ويلاحظ أن الارتفاع حالياً فى المقدار المحدد لكل م^٢ كل ساعة قد ناجم عن إمكانية تشغيل أجزاء الفرن وكل مناطقه .

أما ارتفاع بودقة الصهر فقد حددت المشاهدات والخبرة العملية قيمتها بمقدار يتراوح ما بين ٣.٢ - ٣.٥ أمتار أمتار وبذلك تحققت العمليات التى تؤدى لمنطقة الصهر مثل كريمة المعدن ، وزيادة تسخينه هو والخبث ، وتخليصه من نسبة عالية من الكبريت . وتوضع فتحة الخبث على ارتفاع ١٤٠ إلى ١٦٠ سم من مستوى فتحة الحديد وإذا جهز الفرن بفتحة خبث فالفرق بين مستويها يبلغ ١٢ إلى ١٥ سم ، ومستوى فتحات نفخ الهواء اللاصق « الودنات » يطو بمقدار ١.١٠ إلى ١.٣٠ سم مستوى فتحة الخبث العليا وعلى بعد يتراوح ما بين ٥٠ و ٦٠ سم من الحافة العليا لبودقة الصهر .

ولقد كان من نتائج هذه الدراسات المكتفة لعلاقة مناطق الفرن العالى بعضها ببعض . أن قامت دول عديدة بتجهيز تصهيات للأفران العالية القديمة الموجودة بها طبقاً لنتائج هذه الدراسات وذلك بمعدل فى تصميم أجهزة البطانات الحرارية فى المناطق المنتفخة بالفرن مع إدخال نظم العزيم الحديثة والأكثر فاعلية كما حدث بالفرن رقم ٢ بصانغ أزوشستال الروسية مما دفع إنتاجية الفرن بنسبة ٤٤٪ وغال من استهلاك الكوك بقدار ١١٪ ..

الباب الثالث

المحارريات المستخدمة في بناء الأفران العالية

تم عملية صهر الخامات بالأفران العالية ، للحصول على الحديد الزهر في درجات حرارة عالية . ولهذا أصبح من الضروري تبطين الأفران ، وبض ملحقاتها ، بالطوب الحراري ألواني ، الذي يختلف في مواصفاته وطرق تصنيعه ، تبعاً للاحتياجات التكنولوجية الواجب توافرها في مكان الاستخدام . ولذا نلاحظ أن المحارريات المستخدمة في تبطين الأفران العالية خاصة ، أو ملحقاتها عامة ، ذات طابع خاص ، إذا قورنت بالطوب الحراري العادي . إذ تصنع هذه المحارريات من مكونات لا تقل درجة حرارة انصهار أى منها عن ١٥٨٠ م° ، وكما يتضح من الجدول التالي :

المكونات الأساسية للطوب الحراري المستخدم بالأفران العالية

المادة	الرمز الكيميائي	درجة حرارة الانصهار
السيليكا	Si	١٧٠٠°
الألومينا	Al ₂ O ₃	٢٠٥٠°
الجير	Ca	٣٦٧٠°
الماغنيسيا	Mg	٢٨٠٠°
أكسيد الكروم	Cr	
الكربون	C	يتسامى دون أن ينصهر في درجة حرارة ٣٦٠٠° م

طريقة صنع محارريات الأفران :

يجمع المواد الخام اللازمة لإنتاج أى نوع من محارريات الأفران العالية . وتتنق من كل الشوائب العالقة بها ، ثم تكسر وتطحن وتنخل ، وتوضع في صوامع تخزين حسب

احجامها ، وتسحب الغازات المطحونة منها بكميات محسوبة ، للحصول على خلطة متجانسة التكوين تماماً . وتضاف إلى هذه الخلطة مواد رابطة ، ثم تشكل بعد ذلك ، باستخدام المكابس الميكانيكية ، إلى الأشكال والمقاييس المحددة المطلوبة . وتترك هذه بعض الوقت للجفاف ، بعدها تسخن في أفران خاصة أو قاتن ، ترفع درجة حرارتها بالتدريج ، وتحت مراقبة صارمة ، وينظام خاص ، يتناسب ونوع كل منها ، إلى أن تصل درجة حرارتها حتى ١٣٠٠ إلى ١٦٠٠ م . ويستخدم غاز الأفران العالية ، أو الغازات الطبيعية ، أو غاز الكوك في تسخين هذه الأفران .

أسباب تداعى الطوب الحرارى بالأفران :

نظراً لتعدد العوامل التى تتحكم فى عملية إنتاج الحديد الزهر بالأفران العالية وتباينها ، واختلافها من مستوى إلى مستوى بالفرن ، فلقد تنوعت المسببات التى تؤثر على مقاومة الطوب الحرارى المبطن لها ، والتى تقلل من زمن تشغيله ، الشكل (٣٦) . وعليه فإطالة زمن التشغيل هذا ، يجب اتخاذ الاحتياطات اللازمة لمواجهة كل ما تسببه هذه المؤثرات من أضرار وإتلاف للحراريات ، والتغلب عليها .

وأهم هذه المؤثرات :

- (أ) تحلل الطوب الحرارى بسبب الكربون المترسب عليه (التحلل الكربونى) .
- (ب) الأثر الكيميائى للقلويات والخبث .
- (ج) التغير الحجمى للطوب ، وتأثير المواد المتطايرة بمكونات الشحنة .
- (د) شكل وتصميم الفرن والتوزيع الحرارى بداخله .
- (هـ) تشغيل الفرن ونظام النفخ المستخدم .

وفى إى شرح مبسط لبعض هذه الظواهر ، وأثر كل منها على حراريات الفرن العالى :

- (أ) التحلل الكربونى : يقصد بذلك ، ما يعثرى الطوب الحرارى من تفتت ، بسبب الكربون الناتج من تحلل أول أكسيد الكربون الموجود بغازات الأفران الملاصقة للطوب ، على النحو التالى :



حيث يترسب الكربون على أسطح الطوب الخارجية ، أو على أسطح المسام بداخله .

والتفاعل المذكور عاليه ، يتم في درجة حرارة منخفضة نسبياً (٤٥٠°م إلى ٥٧٠°م) ، وبشرط وجود عامل مساعد ، ويؤدي الحديد النشط الذي تم اختزاله حديثاً من أكاسيده ، والذي لم تتح له الفرصة بعد لاستكمال تكوين بلوراته وتوازنها ، دور مساعد التفاعل في هذه الحالة .

وبما يتقدم يتضح أنه للتغلب على هذه الظاهرة ، يجب أن :

- (١) غطو الطينة التي يصنع منها الخليط ، بقدر المستطاع ، من المركبات الحديدية .
- (٢) أن تكون مسامية الطوب المستخدم في هذه المنطقة قليلة جداً ، حتى لا تعطي الفرصة لترسيب مزيد من الكربون ، بزيادة سطح التلامس بين الطوب والغازات .
- (٣) أن تعطل خطوات تكوين مساعد التفاعل ، ويمكن ذلك بتحويل أكاسيد الحديد بالمحاربات المستخدمة إلى مركبات حديدية صعبة الاختزال ، وبالتالي لا يتوافر وجود الحديد النشط الذي يقوم بعمل مساعد التفاعل .

ويختبر الطوب الحراري لتحديد مدى مقاومته للتحلل الكربوني لتعرض عينات منه بعد تشغيلها في درجة حرارة ٤٢٠ إلى ٥٠٠°م لتيار من غاز أول أكسيد الكربون ، أو بإمرار الغاز في خلطة الطوب قبل التصنيع لمدة أربع ساعات ، ثم قياس كمية المترسب من الكربون عليها ومقارنته بالأرقام المتفق عليها .

(ب) تأثير القلويات : تحوى شحنة الأفران العالية عادة ، نسبياً قليلة من القلويات ، ويعتبر الكوك والحام أهم مصادر هذه القلويات ، وأهمها أكسيد الصوديوم وأكسيد البوتاسيوم ، وتتصاعد أكاسيد هذه القلويات مع ارتفاع درجات الحرارة داخل الفرن مع غاز الفرن العالي كأبخرة تتكثف ثانية في المناطق المنخفضة الحرارة (نسبياً) أعلى الفرن ، حيث تتحد ببعض مكونات الطوب ، وتسبب بذلك خفضاً لدرجة حرارة بدء انصهاره ، وهى في خلال هذا الاتحاد ، تحدث تغييراً في التكوين البلوري للطوب ، مع زيادة في حجمه تسببان في خلق شروخ به .

ومن هذه القلويات أيضاً سيليكات الصوديوم والألومينا والسيانوجين ، الذي يتكون من كربون الكوك ونيتروجين هواء النفخ ، والذي يؤدي إلى تآكل الطوب وخفض قوة احتجاله .

(ج) تأثير الحث : يتآكل الطوب المبطن للفرن عند أماكن تلامسه مع خبث الأفران ، خاصة إذا كان هذا الحث قاعدياً ، أى يحوى نسبة عالية من الجير ، وذلك لخواص هذا

الخبث أولاً ، ولإمكان اتحاد الجير بسيليكا الطوب الحرارى ثانياً . ويحدث ذلك غالباً في المستويات الأعلى من فتحات نفخ الهواء ، حيث تزداد قاعدية الخبث عن مقدار قيمتها في الخبث النهائي .

(د) تأثير المواد المتطايرة : تتطاير بعض المواد كالرصاص والزنك ، إذا وجدت في شحنة الفرن ، (يجب تحاشي وجودها ما أمكن) ، في درجات الحرارة العالية ، لتعود فتتكثف في مسام الطوب الحرارى في مناطق الفرن العليا ، حيث تنخفض درجة الحرارة نسبياً ، وتتأكسد هذه المواد بعد ذلك - بقدر محدود - فتسبب في زيادة حجم الطوب ، وبالتالي تؤدي إلى تفتيته .

(هـ) تأثير الاحتكاك : ويقصد به هنا احتكاك شحنة الفرن خلال هبوطها بالطوب المبطن له . ويظهر أثر ذلك أكبر ما يكون في مكان اصطدام الحفامات المشحونة بمجدران الفرن ، وما يحدث بجوانب الفرن عند هبوط الشحنتات . ولا يقتصر أثر ذلك على ما يسببه من أضرار بالطوب فقط ، ولكن يساعد هذا الاحتكاك على تآكل سطح الطوب ، وبالتالي زيادة تأثير القلويات والمواد المتطايرة والتحلل الكربوني ، نتيجة تجديد أسطح التلامس بين الطوب والغازات .

ولا تقتصر المؤثرات الضارة ببطانة الفرن على ما ذكر آنفاً ، ولكنها عديدة ومتشعبة . وخاصة ما يتعلق منها بطريقة تشغيل الفرن ، مثل عملية تخفيف مياقي الفرن بعد بنائها ، وتكولوجية إعداد خلطة غلق فتحة الحديد ، وما يصاحبها من تصاعد كميات كبيرة من البخار ، قد تؤدي إلى تصدع كبير في المياقي . ومنها أيضاً ما تتعرض له بودقة الصهر ومنطقة فتحات النفخ ، من درجات حرارة عالية .

ومن آثار التشغيل أيضاً ، ما يسببه خطأ توزيع الشحنة بالفرن ، فلو حدثت وتجمعت أحجام الحفامات الكبيرة إلى جوار جوانب الفرن ، فسوف يكون ذلك سبباً في انخفاض مقاومة اندفاع الغازات المساعدة الساخنة ملائمة للبطانة ، وأثر ذلك بالتالى على حرارتها ، بتعرضها إلى درجات حرارة أعلى من تلك المفروض وجودها تحت ظروف التشغيل العادية .

ولا يفوتنا في هذا المجال ، ذكر أثر تصميم الفرن الأصل ، وأثر زيادة الطاقة الإنتاجية

للفرن ، وزيادة معدلات النفخ ، طمعا في زيادة الإنتاجية ، من أثر على أعمار حراريات الأفران .

اختيار الحراريات لبطانة الفرن العالي : بعد استعراض المؤثرات المختلفة التي تؤثر على الطوب الحراري المبطن للفرن ، ومع علمنا باختلاف الظروف المحيطة بالتشغيل في كل منطقة من مناطق الفرن ، والدور الذي تؤديه ، أصبح جليا ، أنه لا يتوافر نوع واحد من الطوب يصلح لمجابهة كل هذه المتطلبات . وعليه يتضح أن أفضل الحراريات لمنطقة ما بالفرن ، هي تلك التي تمتلك المقاومة الأكبر للمؤثرات الفعالة عند هذه المنطقة . ومن هذا المنطلق ، أمكن اختيار الحراريات المناسبة لكل منطقة بالفرن ، بما يحق ذلك الهدف كالاتي :

• منطقة الحلق : في هذه المنطقة ، تنخفض درجة حرارة الفاز نتيجة امتصاص الشحنة للقدرة الأكبر من كمية الحرارة الموجودة به ، كما تكون الفازات الصاعدة قد تخلصت من معظم المواد المتطايرة والقلويات التي تحببها ، وعليه ، لا تتأثر المباني بالمنطقة ، إلا بتصادم الشحنة لدى ارتطامها بجانب الفرن عند نزولها بعد فتح الجرس الكبير ، ولهذا يطن الفرن في هذه المنطقة ، ولارتفاع ما بين ١,٥ الى ٢,٥ متر ، يقطع من الحديد الزهر الهيايتي ، يطلق عليها « بلاطات تسليح قة الفرن » .

منطقة المخروط العلوي :

تحيط بهذه المنطقة المؤثرات الآتية :

- ١ - احتكاك الشحنة أثناء هبوطها بمجران الفرن .
- ٢ - أثر تحلل أول أكسيد الكربون (التحلل الكربوني) .
- ٣ - تأثير الوعائنات ك والرصاص .

ومن ثم يمكن تحديد نوع الطوب الذي يلائم متطلبات هذه المنطقة ، بأن تكون مقاومته للاحتكاك كبيرة ، ومساميته قليلة ، ولتحقيق ذلك ، يتحتم أن يصنع من خلطة متجانسة الحبيبات ، وأن تكون قوالب الطوب كلها ذات أبعاد متساوية وكبيرة ، وذلك للإقلال من حجم الفواصل بين طوب ، وبالتالي الإقلال من المون المستخدمة لربطها ، والتي تكون سهلة التأثير بأضرار المؤثرات الموجودة . كما أن خفض عدد الفواصل ، يؤدي إلى الإقلال من الأبخرة التي تولد عند تحفيف البطانة عند بدء تشغيل الفرن ، ويقلل من تسببها في خلق

مسارات داخل ميانى البطانة تسمح بدخول غاز الأفران بعد ذلك .

ورغم فائدة كبر حجم الطوب للمباني والرغبة فيه ، إلا أن صعوبة تحجيف هذه القوالب تماماً عند صنعها ، بسبب الكثير من متاعب التشغيل . مما دعا إلى إجراء أبحاث عديدة ، أدت إلى صنع الطوب حالياً من خلطة من مكونات تم تحجيف حوالى ٩٠٪ منها قبل التشغيل . ولهذا فائدة الإقلال من الرطوبة عامة بالقوالب ، وبالتالي خفض المسامية التى تسبب زيادة الرطوبة ، وما يتبعها من خروج بخار الماء عند التحجيف من خلق المسام بالقوالب ، الأمر غير المرغوب فيه كما سبق إيضاحه .

ويستخدم حالياً في بعض بلاد العالم ، وخاصة أمريكا ، طوب حرارى تم استخلاص الهواء من مركباته من قبل ، يسمى « طوب خالى الهواء » .

ويحوى الطوب في هذه المنطقة نسبة من الألومينا تتراوح ما بين ٣٢ و ٣٧٪ من وزنه الكلى ، (تزداد نسبة الألومينا كلما بعد مكان الطوب عن قة الفرن) ، والباقي سيليكات وأكسيد حديدك (٢ إلى ٢,٥٪) ، وأكسيد تيتانيوم (ت / ، بنسبة ١,٨ إلى ٢,٣٪ ، والجير بنسبة ٠,٢٥٪ .

المفروضات السفلى :

وتتعرض هذه المنطقة بالفرن إلى :

١ - درجات حرارة مرتفعة جداً .

٢ - التآكل بسبب الغازات .

٣ - الأثر الكيميائى للخبث القاعدى والقلوى .

ولهذا يجب أن يكون الطوب المستخدم هنا من النوع المصمت (لا يحوى مسام) يقدر الإمكان ، قادر على مقاومة الحرارة العالية . ونسبة الألومينا بهذا الطوب مرتفعة تصل حتى ٥١٪ . وأخيراً يجب أن تتوفر لهذا الطوب خاصية تحمل الضغط في درجات الحرارة العالية ، وأن تكون قابليته للانكماش والتدد أقل ما يمكن .

بودقة الصهر :

هذه المنطقة هى المنطقة التى تحوى الحديد والخبث المنصهرين ، وتمتد هذه المنطقة أخطر مناطق الفرن عامة ، إذ تتعرض للظاهرة المعروفة « بتصدع بودقة الصهر » .

وهي أصعب ما يواجهه العاملون بالأفران العالية من حوادث .

ويمكن تلخيص أهم ما تتعرض له المنطقة في الآتي :

١ - درجات الحرارة العالية .

٢ - انكماش الطوب المبلن .

٣ - تأثير الحث .

ويلاحظ في الحرايات المستخدمة في مثل هذا المكان من القرن العاشر ، أنها أنواع خاصة جداً من الطوب الحرارى ، كطوب السيلامينا ، وطوب السيليكا ألومينا ، التي يضاف إليها البوكسيت ، أو الدياسيور ، أو مواد أخرى تحوى نسبة عالية من الألومينا ، وذلك بهدف رفع نسبة الألومينا بها ، وحتى يمكن أن تكتسب الصفات الفيزيكية الضرورية .

وبسبب ارتفاع سعر الحرايات المصنوعة من الكربون ، بالإضافة إلى التقدم التكنولوجى الذى يمكن من اكتشاف أى خلل ببطانة الفرن قبل حدوثه ، اتجهت بعض الدول ، وخاصة الاتحاد السوفيتى ، إلى استخدام الحرايات ذات الألومينا العالية ، في تبطين كل أجزاء الفرن ومقاطعها ، غير أنه وللخواص التي تتمتع بها الحرايات المصنوعة من الكربون - والتي سنذكرها فيما يلى - فإن استخدام حرايات الألومينا في منطقة بودقة الصهر والفرط السفلى في معظم بلدان الكتلة الغربية وخاصة ألمانيا ، لا يزال محدوداً .

أهم مميزات الطوب الكربونى :

يتناز الطوب الكربونى بالعديد من الخواص ، التي ترفع من مكانته عند المقارنة بينه وبين الطوب الحرارى عالى الألومينا . وأهم هذه الخواص ما يلى :

(١) بنسamy الكربون في درجة حرارة عالية تبلغ ٣٩٠٠ م . وبهذا يكون متاسكاً في

درجات حرارة التشغيل في الأفران العالية ، وخاصة عند مستوى فتحات نفخ الهواء .

(٢) تنكش غالبية الحرايات المصنوعة من الطين في درجات الحرارة العالية بنسبة قد

تصل حتى ٧٪ عند درجة حرارة ١٤٨٠ م . بينما لا تتعدى نسبة الانكماش للطوب الكربونى

١ ، إلى ٠.٢٪ عند درجة حرارة ١٩٠٠ م .

(٣) درجة توصيل الحرارة للطوب الكربونى أعلى منها بكثير عن نظيرتها بالنسبة

للطوب الحرارى (تبلغ ١٠ أمثالها) ، وهى خاصية لها قيمتها في تكنولوجيا الأفران العالية .

حيث لأنها تقلل كثيراً من احتياجات التبريد، فيمكن تبريد السطح الخارجى للصاج المظلف للفرن، لتحتفظ البطانة الكربونية بدرجة حرارة مقبولة، وبالتالي يقل احتمال تسرب المياه إلى داخل الفرن وتبريد محتوياته.

(٤) لا يتفاعل الكربون مع خبث الأفران العالية، ولا مع القلوئيات التى توجد بالفرن، وهذا يتفوق في هذا المجال عن الطوب الحرارى.

(٥) للطوب الكربونى قوة تماسك عالية في درجات الحرارة المنخفضة، ترتفع بارتفاع درجة حرارته إلى مرة ونصف، هذا بالإضافة إلى مقاومة كبيرة للاحتكاك (يتحمل الطوب ضغط يعادل ٣,٥ كجم لكل سم^٢ عند درجة حرارة ١٧٠٠° م)، وبذلك فهو يفي باحتياجات التشغيل التى تتطلب قوة تماسك عالية في درجات الحرارة الأعلى من ١٤٨٠° م.

(٦) يمكن استعمال بعض الطوب الكربونى مرة أخرى عند إعادة تبطين الفرن، بينما يكاد يكون ذلك مستحيلًا بالنسبة للطوب الحرارى. وكما يمكن استخدام الطوب الكربونى في عمل خلطات الدك المختلفة.

(٧) نظراً لقوة احتمال الطوب الكربونى، فإنه يمكن إعادة تبطين الجزء العلوى من الفرن، وترك الأماكن المبطنه بالطوب الكربونى بأسفله، بعد انتهاء عمر البطانة التشغيل الأول. وبذلك تقل تكاليف إعادة التبطين عنها في حالة استخدام الطوب الحرارى، مع إعادة تبطين كل مناطق الفرن.

(٨) يلاحظ انخفاض درجة حرارة المبانى أسفل الفرن (تحت مستوى فتحة الحديد) في حالة التبطين بالطوب الكربونى، عنها في حالة التبطين بالطوب الحرارى، وبذلك يمكن تخمى التجهيزات الإضافية للتبريد بالهواء لهذه المناطق، والمستخدمه في حالة التبطين بالطوب الحرارى.

وهناك آراء عديدة تطالب بتعميم تبطين الفرن في جميع المناطق باستخدام الطوب الكربونى، وحتى تتاح ظروف أفضل لا تنظام هبوط الشحنة، ولمقاومة الاحتكاك. إلا أن ذلك لم يتم عملياً.

وباستعراض هذه الخواص المختلفة، يتضح مدى ملاءمة الطوب الكربونى لتبطين منطقة بودقة الصهر والغروط السفلى بالفرن، وهذا يمكن الإقلال، إلى حد كبير، من حوادث تصدع بودقة الصهر. ذلك أن أحجام الطوب الكربونى الكبيرة التى تصل إلى (٦٠ × ٧٠ × ٤٥ سم)، ويوزن يصل حتى ٣ أطنان للطوبة الواحدة يسهل من عملية التبطين التى

يراعى خلالها اختلاف محاور كل طبقة من طبقات المبنى ، حتى لا تتأثر اثنتان منها في اتجاه واحد . وبالتالي تقلل من إمكانية تسرب المعدن أو الخشب خلالها والإضرار بها .
ولقد أمكن صقل جوانب الطوب إلى درجة عالية ، بحيث لا يمكن إمرار شفرة الخلاقة بين طوبة وأخرى ، وبحيث تنبئ أحياناً بدون استخدام أى مادة رابطة بينها . ونظراً لعدم تبلل سطح الكريون بالمعدن أو تفاعلها ، يقل احتمال تكوين بؤرة للحديد السائل في قاع الفرن ، والتي تسبب العديد من المشاكل عند إعادة تبطين الفرن مرة ثانية .

أما بقية أنواع الحرارية المستخدمة في الوحدات المساعدة للفرن العالي ، كالمسخنات ، أو مواسير نفخ الهواء اللانفخ ، أو في تبطين المجارى ، وكذا أنواع الخلطات الحرارية المستخدمة بين الطوب الحرارى المبطن للفرن وصاج التغليف في المناطق المختلفة ، وتلك المستخدمة في إغلاق فتحة الحديد أو تبطين مجارى الحديد ، فسيتم الحديث عنها في الأبواب القادمة ، كلها عرض لذكر كل منها .

الباب الرابع

الوحدات المساعدة للأفران العالية

تعمل مع الأفران العالية، العديد من الوحدات المساعدة الهامة والتي تمكنها من أداء مهمتها. ونقدم فيما يلي وصفا موجزا لهذه الوحدات، ويجب أن لا يقرن الإيجاز في الوصف بمدى أهمية وفاعلية هذه الوحدات، وإنما يدعو لذلك الإيجاز، هدف الى تبسيط المعلومات للقارئ، فلكل وحدة من هذه الوحدات العديد من المؤلفات المتخصصة، التي تتعرض لها بتفاصيل التصميم وشرح النظريات التي توضح عملها، وتحدد لها مؤشرات الأداء، وبرامج الصيانة والتشغيل.

وتشمل الوحدات المقصودة هنا الوحدات التالية :

- ١ - وحدة نفخ الهواء.
- ٢ - وحدة مسخنات الهواء.
- ٣ - وحدة تنقية الغازات.
- ٤ - وحدة أحواش التشوين وصوامع الخامات.
- ٥ - وحدة معالجة وتصنيع الخبث.
- ٦ - وحدة ماكينة صب الزهر.
- ٧ - وحدة طواحين إعداد الطينة الحرارية.

١ - وحدة نفخ الهواء :

يحتاج إنتاج الطين من الحديد الزهر بالفرن العالي، لحوالى ٣,٨ أطنان من الهواء، ويختلف ذلك تبعا للعديد من المؤثرات المتعلقة بنوعية الكوك والحام المستخدمين، ونوع الحديد الزهر المنتج، إلخ.. وعموما، وبسبب ما ترتب على زيادة الطاقة الإنتاجية للأفران الحديثة، فقد تعدد مدى استهلاك الهواء بالأفران الصغيرة بمقدار ٢,٤ متر مكعب لكل دقيقة لكل متر مكعب من حجم الفرن الكلى، وبمقدار ٢ متر مكعب لكل دقيقة لكل متر مكعب من حجم الفرن الكلى، في حالة الأفران الكبيرة.

وبمراعاة التوسع في القدرات الإنتاجية للأفران الحديثة (٦٠٠٠ إلى ٨٠٠٠ طن / ٢٤ ساعة)، ولضمان الحصول على الكميات الهائلة اللازمة من الهواء، تستخدم ماكينات خاصة

تسمى « النفاخات » تقوم بسحب الهواء الجوى ودفعه في مواسير إلى الأفران العالية . ولقد تعددت أنواع هذه النفاخات من حيث التصميم ، فمنها النوع المعروف « باليست » وكذا النوع المعروف « بالروت الدائر » . وتم إدارتها جميعها بتورينينات تعمل بالبخار ، أو بالغاز ، أو بموتورات كهربائية . كما أن منها الأنواع الرأسية أو « الأفقية » أو « الرأسية الأفقية »

وحيث إن ظروف التشغيل بالأفران العالية ، تحتم ضرورة إمداد الأفران بوزن معين ثابت من الهواء للوحدة الزمنية دواما ، مهما كانت الضغوط المضادة الناجمة عن زيادة الضغوط داخل الأفران ، فلقد روعى ذلك عند تصميم هذه الماكينات ، وذلك عن طريق منظمات خاصة تسمى « منظمات الحجم الثابت » التى تكفل الحصول على حجم ثابت للهواء دواما ، حسب الحد والمطلوب ، دون ارتباط بضغط الهواء الجوى ، أو الضغط المضاد . وعموما ، فالاشتراطات اللازم توافرها للنفخات كالآتى :

١ - أن تكون طاقتها الإنتاجية ثابتة ومستمرة ، وأن يكون تغير هذه الطاقة بتأثير الضغوط المضادة فى أضيق الحدود .

٢ - أن يكون مجال السيطرة على قدرات النفاخات الإنتاجية واسعا ، ويعنى ذلك أن اختلاف درجات حرارة الهواء الجوى وضغطه ، يجب أن لا يعوقا توفير الحجم اللازم من الهواء ، ويمكن حساب ذلك فى كل حالة حسب العلاقة التالية :

$$C^1 = C^2 \times \frac{V \times 273}{(D + 273)}$$

حيث :

- C^١ حجم الهواء المنفوخ تحت الظروف المثالية (ج . ش . د . د)
 C^٢ حجم الهواء المنفوخ تحت الظروف الحقيقية (C^٢ . ض . د)
 V ضغط الهواء المنفوخ مم زئبق .
 D درجة حرارة الهواء م°

وتتحدد قدرة المنفاخ بالنسبة لحجم الفرن الذى يعمل معه ، بحيث تضمن إمداد الفرن بكمية الهواء المناسبة التى لا تسبب هبوط الشعنة فجأة أو تعليقها ، كما تنطبق بشرط تشغيل المنفاخ اقتصاديا .

وتحسب كمية الهواء اللازمة - بصورة تقريبية - باعتبار أن كل طن من الحديد الزهر المنتج يحتاج إلى ٢٨٨٠ م^٣ مكعبا من الهواء تحت الظروف المثالية شتاء أو صيفا ، وبالتالي تحدد قدرة المتفاح تبعا لأقصى إنتاج مطلوب . مع إضافة تبلغ ٨ إلى ٢٠% من القيمة الحسوية لمواجهة الفوائد . عند تقدم الفرن ومواسير توصيل الهواء .

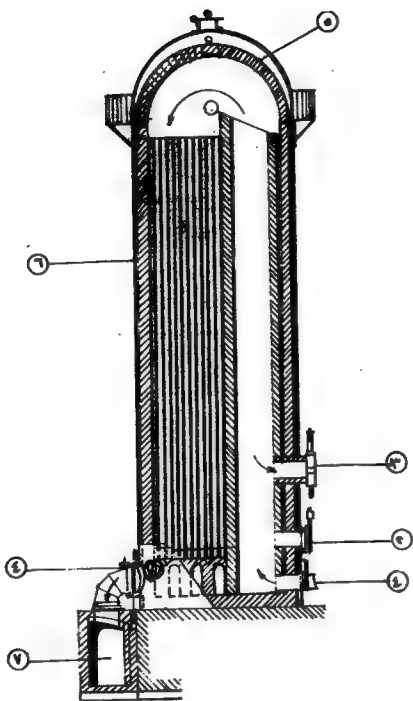
ومن المعروف أن نسبة الرطوبة في الهواء الجوى تؤثر في القدرة الإنتاجية للمتفاح . ولهذا جهزت بعض المصانع في الأماكن التي ترتفع فيها هذه النسبة . بمعدات لتخليص الهواء من الرطوبة العالقة به ، وحفظ نسبتها عند قدر معين (٥% تقريبا) .

(٢) وحدة مسخنات الهواء :

بدأ التفكير في تسخين الهواء الداخل إلى الفرن منذ وقت طويل ، غير أنه لم ينفذ بطريقة علمية إلا في عام ١٨٣٠ م . وقد تم ذلك بالساح للهواء البارد بالمرور في مواسير تسخن بالحرارة الناجمة من حرق الفحم ، وأمكن بذلك رفع درجة حرارة الهواء حتى ٤٠٠ إلى ٤٥٠ م^٣ فقط ، ولم يك ممكنا - في ذلك الحين - رفع درجة حرارة الهواء لأكثر من ذلك ، للأضرار التي كانت تصيب المواسير .

وفي عام ١٩٥٧ ، بنى أول مسخن باستخدام الطوب الحرارى ، وكان عبارة عن غرفة مغلقة بها فتحة في أعلاها ، وأخرى في مستوى مرتفع من الجدار ، واثنين في أسفل الجدران ، تتصل إحداها بغرفة احتراق ، يجري احتراق الفحم بها ، ثم توجه الغازات ناتج الاحتراق إلى غرفة المسخن ، لتخرج من الفتحة العليا . ويستمر ذلك حتى ترتفع درجة حرارة طوب الجدران إلى قدر معين ، عندئذ تغلق الفتحتان المستخدمتان ، وتفتح الفتحتان الأخريان ، ليدخل الهواء البارد من الفتحة السفلى التي بجدار المسخن ، ويلامس الطوب الساخن فترتفع حرارته ، ويخرج من الفتحة الجانبية في أعلى الجدار ، ومنها إلى الفرن ، وهكذا ، حتى تنخفض حرارة الهواء الخارج إلى الفرن ، فتعاد الدورة وهكذا .

كان ذلك في الحقيقة هو أول حلقة من سلسلة تطوير وتحسين أداء المسخنات ، حتى أخذت شكلها المعروف حاليا . وهو عبارة عن أسطوانة من الصاج سمك ١٠ مم في أعلاها إلى ٤٠ مم عند نهايتها السفلى . يتراوح ارتفاعها ما بين ٢٠ ، ٤٠ م^٣ . وقطرها يتراوح من ٥ إلى ٦ أمتار . تنهى في أعلاها بقية دورانية ، (الشكل ١٩) .



شكل رقم ١٩ - سفن الهواء

. وتحدد الأبعاد الرئيسية للمسخنات على أسس محددة تعتمد على تكنولوجيا التشغيل ،
التي يمكن تلخيصها في الآتي :

١ - النظريات الحرارية وانتقال الحرارة ودراسة التيارات الهوائية ، الخ .

٢ - نسبة الغاز للهواء المستخدم للاحتراق .

٣ - الاحتراق الكامل للغاز المستخدم في التسخين .

٤ - مساحة سطح الطوب المستخدم ، بما يضمن امتصاص الحرارة الناجمة من احتراق
غازات التسخين ، وبالتالي رفع درجة الهواء الداخل للمسخنات إلى الدرجة المطلوبة
للتشغيل بالأفران .

وينقسم المسخن إلى قسمين : قسم ييساوي الشكل يسمى « غرفة الاحتراق » ، والجزء
الباقى الممثل لشكل الأسطوانة ، الذى يبنى بطوب حرارى متشابه ، له أشكال هندسية
مختلفة ، يوضع في صفوف متتالية بعضها فوق بعض ، بحيث تكون الفراغات الموجودة
بالطوب عمرات وأسية عديدة ، تكون أسطحها المساحة المعرضة للتسخين ، والتي تعتبر
المؤشر الدال على قدرة المسخن الإنتاجية ، وتتوقف عليها كفاءته .

وتحدد مساحة السطح هذه في الاتحاد السوفيتى بمعدل ٦٠ م^٢ لكل متر مكعب من حجم
الفرن النافع ، بينما تحددها الدول الغربية بمقدار ٤٠ إلى ٥٠ م^٢ . وقديما كانت أبعاد هذه
المرات كبيرة . غير أن استخدام المراوح لإمداد المسخنات بهواء التسخين في عام ١٩٢٠ ،
والذى مكن من زيادة كمية الغاز المستخدم للتسخين ، وبالتالي زادت مبرعة التسخين ،
بالإضافة إلى إمكان رفع كفاءة وحدات تنقية الغازات نسبيا ، قللا أبعاد المرات ،
فأصبحت تبلغ حاليا ٧٠ إلى ١٥٠ مم فقط ، الأمر الذى ساعد على زيادة سرعة الهواء ،
وبالتالى القضاء على تكون طبقات الهواء الثابتة اللاسمة لأسطح الطوب ، مما أدى إلى
تحسين تسخينه ، وبالتالي رفع كفاءة المسخنات .

وتؤثر كفاءة تشغيل وحدات تنقية الغازات ، وما يستتبعها من إقلال لكفاءة التبريد المتبقية
في الغازات المستخدمة بالمسخنات ، على رفع قدرة الأخيرة وزيادة كفاءتها .
ذلك أن هذه الأثرية تتجمع في فتحات الطوب الشبكية وتطلقها نسبيا ، وبالتالي تؤثر على
سرعة الغازات ، ناتج عمليات الاحتراق المستخدمة للتسخين ، فتقلل الوقت المتاح للتلاصق
وانتقال الحرارة من الغازات إلى الطوب ، وبالتالي تخفض كمية الحرارة المكتسبة به ، والتي

تسبب إطالة وقت التسخين . كما تشكل هذه الأثرية ، طبقة عازلة بين الطوب والغازات الساخنة الصاعدة ، مما يقلل من كفاءة التسخين . وهذا الأمر قد سبب عدم إمكان الإقلال من مساحة فتحات الطوب الشبكي عن الحد المين عليه ، خوفا من انسدادها . وكثيرا ما تترقب المسخّنات لعمليات تنظيف فتحات الطوب الشبكي من مخلفات أثرية الغازات .

وبالإضافة إلى ما ذكر آنفاً ، فإن ما تسببه هذه الأثرية عند تراكمها في مناطق المسخن المرتفعة الحرارة ، من تكوين لطبقة منصهرة عازلة (لا انخفاض درجة حرارة انصهارها) ، تؤدي إلى إغلاق سطح الطوب الشبكي المعرض للتسخين ، وتقلل من كفاءته . وقد تسبب أحيانا في تفتيته وتشققه .

لكل ذلك ، فإن الغازات المستخدمة في المسخّنات ، يجب أن لا تحوى أكثر من ٠.٥ جم لكل متر مكعب .

وتتدرج أبعاد فتحات الطوب الشبكي في الازدياد ، كلما ارتفع المنسوب داخل المسخن ، حتى يتلامس ذلك وزيادة حجم الهواء بالتسخين ، وكذا للمساعدة في خروج الهواء الساخن من المسخن ، وإلا تسبب ذلك في ضغوط مضادة على وحدات النفخ .

ونظرا لاختلاف ظروف التشغيل والحرارة لكل منطقة من مناطق المسخّنات ، يبنى المسخن بطوب حرارى في مجموعات ، تلامس خواص كل مجموعة منها الظروف المحيطة بها . فلهجوانب غرفة الاحتراق والطوب الشبكي ، يستخدم الشاموت الذى تزداد نسبة الألومينا فيه تدريجيا ، مع ارتفاع الحرارة من أسفل إلى أعلى المسخن . أما القيمة المخلقة لأعلى المسخن ، فتبنى من طوب السيليكا ، لمقاومته للحرارة العالية بسبب ارتفاع مقاومته للتميع ، رغم احتمال تعرضه للكسر وللشروخ عند تحول السيليكا من التريدميت إلى الكريستوباليت عند درجة حرارة ٥٦٠° م تقريبا ، الأمر الذى يدعو إلى الاحتياط عند بدء تسخين المسخن فى بدء تشغيله فقط - حيث إن درجة حرارة القبة تظل دوما بعد ذلك ، خلال عمل المسخن أعلى من هذه الدرجة .

وتفصل بين الطوب الحرارى المبطّن للمسخن والصاج المفلّح له ، طبقة من الطوب العازل للحرارة ، يسمك يتراوح ما بين ٦ و ١٢ سم . ويفصل بين مباني القبة والطوب العازل فراغ يبلغ من ٣٠ الى ٥٠ سم يسمح بتمدد الطوب .

ويرتخر الطوب الشبكي على قواعد من الصلب المقاوم للحرارة والصدأ ، ترتكز بدورها على قاعدة المسخن الخرسانية . وتستعمل في المسخن الواحد ، حسب حجمه ، كمية من الطوب الحرارى تبلغ ٨٠٠ إلى ١٤٠٠ طن . ومن المعروف أن زيادة وزن الطوب تمكن من حفظ كمية كبيرة من الحرارة . وعموما تلخص الخواص اللازم توافرها في طوب المسخنات ، في القدرة على تحمل درجات الحرارة العالية ، وانخفاض المسامية ، وقوة الاحتال للتغيرات في درجات الحرارة .

ويجهز كل مسخن بخمس فتحات (شكل ١٩) ، يركب على كل منها صام (بلف) محكم ، يختلف تصميمه حسب موضعه ، مهمته إحكام إغلاق الفتحة المركب عليها في حالة عدم استخدامها . وهذه الصامات هي :

(أ) صام الهواء البارد الآتى من محطات النفخ . (مدخل الهواء الداخلى إلى المسخن) .

(ب) صام الهواء الساخن . . . (مخرج الهواء اللافخ إلى الفرن) .

(ج) صام العادم . . . (مخرج الغازات الناتجة من الاحتراق) .

(د) صام هواء الاحتراق . . . (اللازم لإشعال الغازات وحرقتها) .

(هـ) صام غاز الاحتراق . . . (لإدخال الغازات اللازمة للحريق) .

تشغيل المسخن :

تتكون دورة تشغيل المسخن من مرحلتين :

١- مرحلة الإعداد أو التسخين .

٢- مرحلة النفخ .

وتستغرق الدورة الكاملة ما بين ساعة وساعتين ، حسب درجة الحرارة المطلوبة للهواء اللافخ ، وحسب مساحة سطح المسخن . وحسب عدد المسخنات الملحقة بالفرن ، وأخيرا حسب ظروف تشغيل الفرن .

(١) مرحلة الإعداد أو التسخين :

تبدأ مرحلة الإعداد أو التسخين ، بأن يفتح صام العادم الموصل إلى المدخنة ، الذى يفتح على مرحلتين ، لتفريغ المسخن مما به من هواء ، عن طريق سحبه خلال المدخنة ، ثم يتبع ذلك بفتح صام هواء الاحتراق ، وأخيرا صام الغاز . وتضبط كمية الغازات المحترقة ، وكمية الهواء التى تكفل الاحتراق الكامل لها ، وهما مرتبطان أوتوماتيكيا . ومع مرور

الوقت ، تزداد كمية الهواء والغازات المستخدمة ، وتزداد نسبة الهواء الإضافية - زيادة عن المقدار اللازم للاحتراق الكامل للغازات - عن طريق منظمات خاصة ، حتى تصل درجة حرارة طوب قبة المسخن إلى درجة معينة ، (١١٥٠ إلى ١٢٠٠ م) . ومع ارتفاع درجة حرارة طوب المسخن ، ترتفع درجة حرارة الغازات الخارجة من صمام الصادم (ناتج الاحتراق) ، وتبلغ ٢٠٠ إلى ٢٥٠ م عادة عند الوصول إلى نهاية المرحلة . ويكون المسخن عند الحد ، قد استنفذ كمية الهواء الإضافية والتي تبلغ نصف كمية الهواء المستخدمة عند بدء التسخين . عند ذلك يتم إيقاف التسخين ، وتطلق البلوف المفتوحة في اتجاه عكس المذكور آنفاً ، وهذا تنتهي مرحلة الإعداد أو لتسخين .

(٢) مرحلة النفخ :

تبدأ مرحلة النفخ مباشرة بعد انتهاء التسخين - في العادة - حيث يفتح بلف الهواء البارد ، حتى يملأ المسخن بالهواء ، ويتساوى ضغط الهواء داخل المسخن مع الضغط الخارجى الواقع على صمام (بلف) الهواء الساخن (من ماسورة الهواء الساخن) ، ثم يفتح الأخير ليسمح بمرور الهواء الساخن من المسخن إلى ماسورة الهواء الساخن إلى الفرن

في مرحلة النفخ بالتسخين ، تنتقل الحرارة من الطوب إلى الهواء ، إما بالتلامس ، وإما بالإشعاع ، وإما بالتوصيل . ولهذا تحدد كمية الهواء الداخلة للمسخن ، بما يحقق الهدف المنشود ، حيث إن كمية الهواء الأقل تتولد عنها طبقة تكاد تكون ثابتة بجوار الطوب لا تتحرك ، وبالتالي تؤثر على توصيل الحرارة إلى الطبقات الأخرى إلى الداخل . كما أن زيادة كمية الهواء ، بسبب زيادة سرعته خلال المسخن ، وبالتالي إقلال وقت التلامس مع الطوب . بالإضافة إلى ما تسببه زيادة سرعة الهواء ، من منع لتكوين الدوامات الهوائية التي تساعد في تسخين الطوب .

ونظراً لأن الفرن يعمل بدرجة حرارة ثابتة للهواء اللاحق عادة ، وأنه مع بدء النفخ خلال المسخن بعد تسخينه مباشرة تكون درجة حرارة الهواء اللاحق - غالباً - أعلى من المطلوبة ، فلقد تم توصيل ماسورة للهواء البارد من محطة التفافات ، يحكمها صمام متحرك (بترفلاى) ، يسمح بإدخال كمية من الهواء البارد ، تختلط بالهواء الساخن الخارج من المسخن ، ليكون لنتائجها درجة حرارة تساوى درجة الحرارة المطلوبة . ومع استمرار النفخ

وانخفاض درجة حرارة الطوب داخل المسخن ، وبالتالي انخفاض حرارة الهواء الخارج منه ، يطلق اليلف المتحرك على ماسورة الهواء البارد تدريجيا ، حتى نهايته ، وبالتالي يمنع السباح لأى هواء بارد بالمرور ، ويكون ذلك بمثابة الإنشارة إلى نهاية مرحلة النفخ ، وضرورة إعادة التسخين ، فيمتنع النفخ وتبدأ دورة التسخين وهكذا .

ويجهز كل فرن عادة بمسختين أساسيين ، وثالث احتياطى لها ، أو أربعة فى حالات الأفران الكبيرة ، وللحاجة إلى درجات الحرارة العالية ، الأمر الذى يمكن من زيادة فترة مرحلة التسخين بالقياس إلى مرحلة النفخ . وعليه فيمتجرد إغلاق زاوية الخلط بالمسخن العامل ، يبدأ فوراً فى تشغيل المسخن الآخر الذى تم تسخينه ، ولا يسمح بتوقف المسخن العامل أبداً ، إلا بعد بدء العمل بالمسخن الثانى ، والتأكد من سلامته ، وعدم وجود أى خلل به .

ونظرا لحساسية تشغيل المسخنات ، وأثرها الاقتصادى المباشر على الأفران ، ولخطورة طبيعة العمل ، تجهز غرفة مراقبة المسخنات - أو غرفة مراقبة الفرن - بالعديد من الأجهزة والمقاييس ، التى توضح للعاملين كل المراحل المختلفة ، والتى قد تربط كل منها بالأخرى أوتوماتيكيا .

ولكل مسخن هذه الغرفة ، الأجهزة التالية :

- ١ - جهاز قياس وتسجيل لدرجة حرارة الهواء الساخن الخارج من المسخن .
- ٢ - جهاز قياس وتسجيل لدرجة حرارة العوادم .
- ٣ - جهاز قياس وتسجيل لدرجة حراريات القبة .
- ٤ - جهازان لقياس وتسجيل كمية الغاز ، وكمية الهواء فى مرحلة التسخين .
- ٥ - جهاز لتحديد كمية الغاز إلى كمية هواء الاحتراق (محدد بنسبة ١ إلى ١,٥ مثلا) .
- ٦ - جهاز يبين كمية الهواء الإضافية ، و الذى يبدأ عمله بعد وصول القبة أقصى درجة حرارة مسعوج بها .

أما الأجهزة الموجودة الخاصة بمراقبة الأفران والتنسيق معها ، فهى :

- ١ - جهاز يقيس ويسجل درجة حرارة الهواء الداخلى للفرن (بعد خلطه بالهواء البارد) .
- ٢ - جهاز يقيس ويسجل كمية الهواء الداخلة للفرن .
- ٣ - جهاز يبين ضغط الهواء البارد .

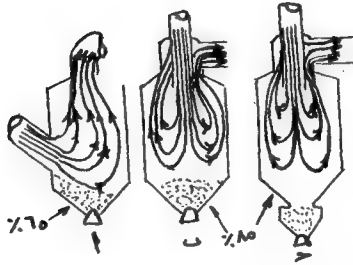
٤ - جهاز يبين مقدار زاوية فتح بلف هواء الخلط .

أجهزة إضافية :

١ - جهاز يبين ضغط الغاز في شبكة الغاز التنظيف بالمصانع .

٢ - أجهزة اتصال مباشرة بوحدات نفخ الهواء ومحطة الغازات وبالأفران والمصانع .

ويجهز كل مسخن بفتحتين في أسفل جدران غرفة الاحتراق ، وبفتحة أخرى في غرفة الطوب النسيكي ، وأربع فتحات في أعلى قبة المسخن تحت القبة ، لا استخدامها في عمليات التنظيف والترميم للبطانات ، والكشف الدورى على الحراريات .



شكل رقم ٢٠ - يبين كيفية تنقية الغازات من الأتربة
بمجمعات وحلزونيات الأفران تنقية جافة
(لا نظرية كفاءة مفرغة بالأسقام)

٣- وحدة تنقية غازات الأفران العالية :

تخرج الغازات من أعلى الفرن العالى ، حاملة معها كميات كبيرة من الأتربة ذات الأحجام الناعمة ، التى يمكن للغازات ، فى اندفاعها خارج الفرن ، أن تحملها . وتتكون هذه الأتربة من خليط من خام الحديد ، والحجر الجيري ، والكوك ، والمشحونات الأخرى . وتختلف أحجام هذه الأتربة من بضع ميكرونات حتى ٢ مم ، وربما أكبر ، تبعاً لقيمة ضغط غاز الأفران .

وحيث أن هذه الغازات تترك الأفران بدرجة حرارة تتراوح ما بين ١٥٠ و ٣٠٠ م ، وهى بتكوينها الكيميائى ، تحوى نسبة من غاز أول أكسيد الكربون تبلغ ٢٧ إلى ٣٠ ٪ ، أى أنها تحوى طاقة حرارية كبيرة تقدر بحوالى ٤٥ إلى ٥٠ ٪ من إجمالى الطاقة الحرارية للكوك المشحون بالأفران ، ونظراً للصعوبات العملية التى تسببها هذه الأتربة عند عمليات احتراق غازات الأفران لذا ينبغى تنقية هذه الغازات من الأتربة العالقة بها .

وتتم عملية التنقية هذه فى خطوات متعاقبة ، تتم كلها بوحدة « تنقية الغازات » الملحقة بالأفران العالية . ونظراً لتباين أحجام الأتربة العالقة ، وللوصول إلى درجة التنقية المطلوبة للغازات ، فلقد قسمت العملية الى مرحلتين :

١ - التنقية الأولية أو المبدئية .

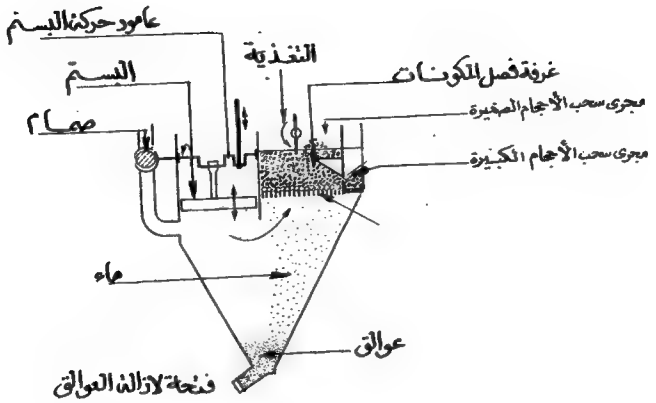
٢ - التنقية الدقيقة .

١- التنقية الأولية أو المبدئية :

ويتم فى هذه المرحلة تنقية الغازات باستخدام طرق جافة ، حيث يتم فصل حوالى ٩٠ ٪ من كمية الأتربة الاجمالية فى الغازات الخارجة من الفرن . وتستخدم فى هذه المرحلة المعدات التالية :

(١) مجمع الأتربة :

وهو عبارة عن جسم أسطوانى من الصاج ، (شكل ٢٠) ، بقطر ٦ إلى ٨ أمتار ، مغلق بمخروطين من أعلاه ومن أسفله ، ويبلغ ارتفاعه ما بين ١٠ إلى ١٥ متراً ، يجهز فى أسفله فى نهاية المخروط ، بفتحة لسحب الأتربة المتجمعة فيه مباشرة ، أو عن طريق مكتة سحب خاصة . وينتهى المخروط فى أعلاه ، بشكل أسطوانى به فتحة جانبية لخروج الغازات بعد تنقيتها . وباستخدام جرس من الزهر الهياتقى ، يمكن إغلاق هذا الجزء الأسطوانى ، وبالتالي



شكل رقم ٢١ - جهاز فصل مكونات الخامات حسب وزنها

فصل الفرن عن شبكة غازات المصانع • وتدخل الغازات إلى المجمع عن طريق فتحة جانبية : هي نهاية ماسورة التجميع لمواسير مآخذ الفرن (البتولون) .
وتبنى نظرية العمل بمجمع الأثرية ، على الأثر الذى يخلفه تغير اتجاه الغازات أو انعكاسه ، مع الإقلال من سبرعتها نتيجة تعرضها لزيادة مفاجئة فى حجم المكان الذى تشغله ، من خفض لقدرتها على حمل الأثرية ، وبالتالي تساقط هذه وتجميعها بأسفل المجمعات .

وتجهز مجمعات الأثرية بصمامات أمن « تسمى بوابات الانفجار » ، تفتح تلقائيا عند بلوغ الضغط داخل المجمع قدرا معيناً ، بحيث تسمح بخروج دفعة من الغازات ، ثم تعود إلى وضعها الأصل تلقائيا ، وذلك تحاشيا للأضرار التى قد تنجم عن زيادة الضغط ، دون إيجاد وسيلة لتخفيفه . كما تجهز المجمعات بفتحات أخرى لطرد الغازات (عادة فى أعلاها) ، لا استخدامها عند فصلا أو ربط المجمع بشبكة الغازات ، مع بدء تشغيل الفرن عقب فترة توقف طويلة ، أو عند إجراء الصيانات أو العمرات به .

وقد يبطن المجمع بطوب حرارى حماية له ، ووقاية من درجات حرارة الغازات العالية ، غير أن هذا الاتجاه قد قل أخيراً ، لعدم الحاجة إليه مع درجات الحرارة الحالية للغازات .
وتركب عادة رشاشات بخار أو مياه على مآخذ التراب ، أو بداخل المجمع ، غير أن ذلك يسبب العديد من المشاكل ، بسبب تكون طبقة من الطين الجاف على جوانب المجمع أحيانا ، تغلق جزءاً منه ، وقد تسبب فى توقفه .

ويحدد حجم مجمع الأثرية بما يتناسب وحجم الأثرية المجمعة ، وبحيث لا تتعدى سرعة الغاز داخله ٠,٨ متر لكل ثانية . ونظرا لطبيعة عمل المجمع ، والهدف منه ، ونظرية تشغيله ، فيمكن أن يأخذ مخرج الغاز أو مدخله أحد الأشكال المحددة بالشكل (٢٠) .

(ب) الحلزونات :

تفادر الغازات بمجمع الأثرية ، حاوية بعض الأثرية ذات الأحجام التى لم يتم فصلها فيه ، ولهذا فإن غالبية مصانع العالم تجهز وحدة التنقية بها بما يسمى « الحلزونات » ، الشكل (٢١) . وهى عبارة عن جسم أسطوانى بقطر من ٣ إلى ٤ أمتار ، وارتفاع من ١٠ إلى ١٢ متراً .

وتعتمد نظرية تشغيل الحلازونات - كالجسمعات تماما - على خفض قدرة الغازات على حمل ما بها من عوالق عند تغيير مسارها ، أو خفض سرعتها . وعليه تدخل الغازات من فتحة جانبية بأعلى الحلازون ، ملازمة لسطحه الداخلى ، فتأخذ حركة دورانية تقلل من سرعتها وطاقها على حمل أحجام من الأتربة فوق حجم معين . وبذا تنفصل هذه عن الغازات التي تخرج بدورها عن طريق ماسورة أسطوانية متركزة في منتصف الحلازون ، إلى خارج الحلازون ، ليعاد إدخالها في حلزون آخر ، ليعاد عليها إجراء نفس العملية .

وتفادر الغازات الحلازون الأخير ، حاملة معها قدرا من الأتربة والموالق تحوى تقريبا ٤ م لكل م^٣ . وهو قدر أعلى من المسموح بوجوده في الغاز النقي ، وبالتالي تدخل الغازات إلى مرحلة التنقية الدقيقة .

٢ - التنقية الدقيقة :

تحدد كمية العوالق بالغاز النقي ، بمقدار لا يتعدى ٠٠٥ و ٠١٠ كيلو جرام لكل متر مكعب ، وتحمل الغازات بعد معاملتها بالتنقية المبدئية ، قدرا أكثر من هذا . ومن هنا برزت دقة وحساسية العمل بمرحلة التنقية الدقيقة التي يمكن إتمامها بإحدى الطرق الآتية :

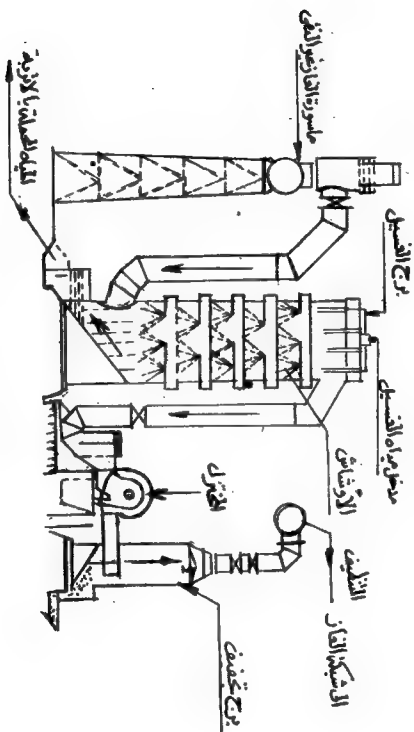
(أ) التنقية المبللة .

(ب) التنقية الجافة .

(ج) التنقية الكهربائية .

(أ) التنقية المبللة :

تلخص هذه الطريقة ، في تعريض الغازات بما تحويه من عوالق لرذاذ من الماء ، وبذا يتكون غلاف رقيق من الماء على السطح الخارجى للأتربة والموالق ، فيزداد وزنها ، ولا تستطيع الغازات حملها ، فتسقط وتتجمع على هيئة طينة ، يمكن بعد ذلك فصلها وإبعادها . ويستخدم في هذه الطريقة أبراج غسيل ، الشكل (٢٢) ، خاصة يبلغ ارتفاع الواحد منها من ١٠ إلى ١٢ مترا ، وقطره من ٣ إلى ٤ أمتار . مجهزة من الداخل بمجموعة من الأرفف الخشبية ، المكون كل منها من مجموعة من القضبان الخشبية تستعرض سير الغازات ، وبالتالي يتم « تقليبا ومزجها » وخفض سرعتها . ومن خلال مجموعة مواسير مركبة على السطح الداخلى للبرج ، يصل الماء إلى أدشاش ، يخرج الماء منها مقترنا مسار



نفسه ٢٥ - التقنيّة الجديدة

الغازات الصاعدة من أسفل البرج إلى أعلاه . وهكذا تتم عملية تبريد الغاز وتجميع الأثرية العالقة به ، لتخرج من أسفله مع الماء إلى أحواض الترسيب . لتنقية المياه منها ، ثم إعادتها ثانية إلى التشغيل وذلك للإقلال من استهلاكها .

ويغادر الغاز ، الذي تم تنظيفه بهذا القدر ، أعلى البرج حاويا من ٢ ، إلى ٨ ، جم من الأثرية ، بكل متر مكعب غاز .

ويدخل الغاز بعد ذلك إلى « مكنة الاختزال » ، وهي عبارة عن مروحة تدور بسرعة كبيرة ، محورها دوراتها مجهز بتقوب يخرج منها الماء المضغوط ، ليختلط مع الغاز خلال دوراته بالفتزل ، وبالتالي تبلل بقايا الأثرية العالقة بالغاز بالماء ، ثم يخرج ذلك الغاز الرطب ليواجه أسطح « فاصل الماء » المائلة ، فيفقد جزءا كبيرا من رطوبته ، ويخرج من أعلاه إلى مواسير الغاز النقي .

وتبلغ معدلات استهلاك المياه بالفصالات ما بين ٤ و ٦ لتر / م^٣ من الغاز ، وي المختزل يبلغ ذلك من ٧ إلى ١٨ لترا ، لكل م^٣ من الغاز .

ويحتوى الغاز النقي بهذه الطريقة ٠.٠٨ - ٠.١٢ ، جم لكل م^٣ من الغاز .
(ب) التنقية المجففة :

في هذه الطريقة ، يدخل الغاز إلى قرأت مغلقة من أعلاها ، تصنع جوانبها من قماش قطنى ، فتتراكم الأثرية على القماش ، ويمكن سحبها بعد ذلك . وتكون كل ٣٠ إلى ٣٥ من هذه القمرات وحدة منظم ، وتتجمع كل ١٠ إلى ١٢ من هذه المنظفات معا ، لتكون وحدة تنقية كاملة .

وحيث أن درجة حرارة الغازات - في حالتها الطبيعية - قد تسبب احتراق الأقمشة المستخدمة ، لذا وجب تبريد الغاز قبل إمراره بالقمرات ، وخوفا من أن تتسبب الرطوبة التي يحويها الغاز ، نتيجة لذلك ، في إغلاق فتحات الأقمشة القطنية ، لذا يعاد تسخين الغاز بعد تبريده لدرجة حرارة أعلى من ٦٠٠° م ، حتى تظل الرطوبة الموجودة بالغاز على هيئة بخار ولا تتكثف . واستخدام هذه الطريقة - لهذا السبب - محدود جدا .

(ج) التنقية الكهربائية :

وتعتمد هذه الطريقة ، والتي تم استخدامها سنة ١٩١٠ لأول مرة ، على تأين الغازات المارة في مجال دائرة كهربائية بضغط عال ، حيث تكتسب أثرية الغازات خلال مرورها وملامستها لقطب موجب ، شحنة كهربائية موجبة ، وعند مرورها على القطب السالب

المعرض لمسارها ، تراكم عليه ، ويمكن تجميعها بعد ذلك من خلال فتحات بماكنة سحب أسفل المنظف .

وتحدد سرعة مرور الغازات ، بحيث لا تزيد على ٨ إلى ١٠ متر كل ثانية ، وذلك حتى يمكن الحد من عدد مواسير القطب الموجب ، حيث أن زيادتها عن المطلوب تعطل فاعليتها . كما يجب أن تزيد الرطوبة على ٥٠ إلى ٦٠ جم لكل متر مكعب . وعادة ما يسبق عملية التنقية الكهربائية ، غسيل للغاز في غسالات تنسب النوع المستخدم في حالة التنقية المبللة ، لكن بدون المعرضات الحشبية .

وهناك رأى آخر يطل ما يحدث ، بأن الغازات التي تحمل مواداً شائبة بها عند مرورها في أنبوبة بين قطبين كهربائيين أحدهما يحمل ضغطاً عليا ، والآخر موصل بالأرض ، فإنه وكنتيجة لقوة المجال الكهربائي ، تتأين هذه الغازات ، وتوجه الأيونات الموجبة إلى القطب السالب والعكس ، وهي عند انتقالها تنقل معها ذرات التراب التي تقابلها ، وتجمعها على سطح الأنبوبة .

وكثيرا ما يجمع بين غسيل الغاز والفصل الكهربائي ، للوصول إلى أعلى درجات تنقية للغاز من الأتربة والعوالق .

وبالانتهاء من عمليات التنقية ، يدفع الغاز عادة إلى خزان الغاز الذي يؤدي وظيفتين رئيسيتين :

- ١ - حفظ الضغط في شبكة الغاز النظيفة بالمصانع .
 - ٢ - مقابلة أى زيادة في الاستهلاك ، أو أى عطل في إنتاج الغاز .
- (لتوقف فرن فجأة ، الخ .) .

وهو عبارة عن جسم أسطواني من الصاج الملفوف ، بارتفاع يصل إلى ٣٠ مترا ، يتحرك بداخله « بستم » يتصل بمؤشر للدلالة على كمية الغاز الموجودة بالخزان ، وفي نهاية الخزان العليا ، توجد فتحات تهوية تعمل في تصريف الغاز إلى الجو عند امتلاء الخزان ، نتيجة ضغط الغاز عليه إلى أعلى . وارتفاع مستوى البستم عن مستواها ، مانعة بذلك للبستم من الخروج عن مكانه .

ومن خزان الغاز، يخرج الغاز النقي إلى أماكن الاستهلاك بالمصانع وأهمها:

- ١ - مسخنتات الهواء للأفران العالية وتستهلك حوالى ٣٠% منه
- ٢ - محطات توليد الطاقة (كهرباء - بخار) وتستهلك حوالى ٤٠% منه
- ٣ - أفران التخمر والأفران الضاطمة والدافعة وأفران حرق الجير. الدولوميت، الخ. وتستهلك حوالى ١٠% منه
- ٤ - بطاريات إنتاج الكوك وتستهلك حوالى ١٥% منه
- ٥ - بقية وحدات المصانع وتستهلك حوالى الباقي

٤ - وحدة أحواش التشوين وصوامع الخامات:

تتعامل الأفران العالية، مع العديد من الخامات المختلفة في خواصها الفيزيكية والكيميائية، ويتطلب التشغيل السليم للأفران، ضرورة الهيمنة التامة على كل مشحون بها كما ونوعا، وبهذا كان من الضروري تزويد الأفران بأماكن يتم تشوين هذه الخامات بها، منفصلة كل منها عن الأخرى تماما. ويتم ذلك في وحدة الصوامع وأحواش التشوين التي يلزم وجودها أقرب ما يكون إلى الأفران، والتي يراعى ضرورة ربطها بشبكة النقل الداخلى والخارجى للمصانع. ويتحدد حجم هذه الوحدات تبعا لظروف عديدة نذكر منها:

(١) مصادر الخامات

يتطلب التشغيل المنتظم بالأفران، ضرورة توافر الخامات المختلفة دوما، وبالتالي يؤخذ دائما في الاعتبار، حجم الطليبات، وحجم الاحتياطي اللازم وجوده بأحواش التشوين، واللدان يرتبطان ارتباطا وثيقا بالوضع الجغرافى لمصدر الخامة، ووسيلة النقل المستخدمة في نقلها، وظروف توافرها.

ومن الخطأ الشائع، إعطاء الأهمية للخامات المستوردة، ذلك أن كل الخامات تتساوى في درجة أهميتها بالنسبة للتشغيل، ولذلك يجب أن تعد بمصانع الحديد والصلب، - بكل وضوح مع مراعاة كل الظروف الحقيقية - خطة زمنية متكاملة، للحصول على هذه الخامات، تحدد بها الكميات، والمواصفات، ومواعيد التوريد، ومعدلات الوصول إلى المصانع.

وعليه، فإذا كان مصدر الخامة يشكل متاعب تحد من إمكانية الحصول عليها، لزم أن يزداد حجم الطليبة، وكذا حجم التخزين، وبالتالي حجم أحواش التشوين والعكس.

(ب) الطاقة الإنتاجية للأفران :

لكل مصنع من المصانع طاقة إنتاجية محددة ، ومن المعروف مسبقا معدلات الاستهلاك من الخامات بالوحدات الإنتاجية به ، وبالتالي تتحدد سمة وحجم أحواش التشوين تبعاً لذلك ، ويجب أن تراعى احتمالات التوسع مستقبلا في هذه الطاقة التصميمية ، سواء بإضافة وحدات جديدة ، أو برفع كفاءة استغلال الوحدات الأصلية ، أو نتيجة التقدم التكنولوجى للعمليات ، وازدياد خبرة العاملين . وعليه ، يجب دوما مراعاة ذلك عند تصميم أحواش التشوين ، بحيث يمكن بتعديلات بسيطة ، أو بإضافات محدودة ، زيادة طاقاتها التخزينية .

(ج) خواص الخامات :

تختلف الخامات كما ذكر من قبل ، في خواصها ، ويؤخذ ذلك في الاعتبار في حساب شحنة الفرن . وعليه يجب أن تراعى عند تشوين هذه الخامات المحافظة عليها ، فثلا في حالة استخدام الخامات الهشة السهلة الكسر والتفتت ، يراعى بقدر الإمكان ، الإقلال من عمليات الشحن والتفريغ ، حتى لا ترتفع نسبة الفواقد فيها ، وبسبب ذلك ، فإن الخامات الناعمة يجب أن تشوين في الصوامع مباشرة ، للحفاظ عليها من الاختلاط بغيرها ، وبالتاليذبذبة تحاليلها . وتلعب هذه المواصفات جميعها ، دورا أيضا في تحديد حجم وسعة وتصميم هذه الوحدة .

(د) طبيعة العمليات التى تتعرض لها الخامات :

لا شك في أن رفع كفاءة شحنة الأفران ، مؤثر بالغ الأهمية في اقتصاديات التشغيل ، ويعتبر الوصول إلى تجانس مكوناتها ، من مبادئ رفع كفاءة الشحنة . وحيث أن الخامات تصل إلى المصانع في شكل دفعات متعددة تتفاوت في تحاليلها وخواصها ، لذا يلزم إجراء عمليات تجانس صناعية لها ، تتلخص في فرش الحامة على هيئة صفوف متعاقبة أفقيا ورأسيا ، ثم سحبها مقطعا مقطعا ، من إحدى نهايات الكوم الذى تم تجنيسه حتى نهايته الأخرى . لهذا لزم دوما أن تدرس خواص هذه الخامات أصلا ، والعمليات التى تتم عليها ، لتجهيزها وتجنيسها قبل شحنها بالفرن . الأمر الذى يتطلب تحديد المكان اللازم لإجراء مثل هذه العمليات ، وبالتالي تحديد حجم وسعة وحدة التشوين والصوامع .

(٥) حجم الاحتياطي من الخامات :

لا استمرار التشغيل المنتظم بالأفران ، ولإمكان إجراء عمليات الإعداد والتجئيس للمشحونات ، ولقابلة أية ظروف اضطرارية خارجة تمنع وصول شحنات الخامات بعضها أو كلها إلى المصانع . يراعى دوماً تحديد حجم احتياطي لكل خامة ، حسب الظروف التي تحيط بعمليات الحصول عليها - كما ذكر آنفاً - تراعى فيها الظروف المتكاملة .

وبالإضافة إلى ذلك ، ولتسهيل الإجراءات الإدارية اللازمة للحصول على هذه الخامات ، وإعطائها الوقت اللازم لإنائها ، وجب تحديد ما يسمى بالحد الأدنى للمخزون ، وحد الطلب ، والرصيد المخرج ... الخ . الخ . وتختلف مصانع العالم في تحديد هذه المجموع حسب ظروفها الخاصة ، ولكن اتفق الجميع تقريباً ، على أن يكن المخزون - في أى وقت - تشغيل الأفران لمدة ١٥ يوماً للخامات المحلية و ٣٠ يوماً للخامات المستوردة . وهذا ولا شك ، يحدد بالتالى المساحات اللازمة من أحواش التشوين .

وسائل النقل المستخدمة في نقل الخامات :

تستخدم وسائل النقل المختلفة في نقل الخامات من مصادرها إلى المصانع ، وقد تعرض العديد من الباحثين لتحديد مدى اقتصاديات هذه الوسائل تحت ظروف النقل المختلفة ، وأمكن تلخيص نتائجهم كالآتي :

- ١ - السكة الحديدية : تستخدم في نقل الكميات الكبيرة ، لمسافات طويلة .
 - ٢ - النقل النهري : يستخدم في نقل الكميات الكبيرة ، لمسافات طويلة ، أو متوسطة .
 - ٣ - النقل البري : باستخدام السيارات في كميات صغيرة ، لمسافات محدودة .
 - ٤ - السيور والأسلاك الطائرة : للكميات الكبيرة ، لمسافات صغيرة .
- ومنه يتضح أن الوسيلتين الأولى والثانية ، هما أفضل الوسائل للنقل من خارج المصانع وإليها .

أما في نقل الكوك ، من البطاريات المجاورة عادة لمصانع الحديد ، فتستخدم السيور الناقلة . وتستخدم في حالة النقل بالسكك الحديدية ، عربات ذات تصميم خاص تفتح أوتوماتيكياً ، أو بمهزة بروافع هيدروليكية ، يتم تشغيلها عن طريق القاطرة ، تميلها بزاوية تكن لسقوط مشحوناتها في أماكن التشوين . وتستخدم حديثاً للإنزراع في عمليات التفريغ ،

عربة تفريغ القطارات الثابتة ، أو تلك التي تتحرك على قضبان خاصة بطول أحواش التشنوين ، تقوم هذه بواسطة أجهزتها الميكانيكية ، بحمل عربة القطار العملة بالحمامات ، وقلها بأحواش التشنوين ، ثم إعادتها فارغة لوضعها ثانية على قضيب السكك الحديدية ، حيث تسحب بعيدا ، وتقدم العربة التي تليها للمكان المحدد في « عربة تفريغ » القطارات ، وهكذا . وتفرغ هذه العربة ٣٠ عربة في الساعة ، الأمر الذي يسهل إمكانية التعامل مع الكليات الضخمة من الحمامات الواردة . وفي حالة ثبات العربة ، تلقى حمولتها إلى صوامع مجاورة لها ، تسحب الحمامات منها عن طريق سيور خاصة ، إلى أماكن تشوينها بأحواش التشنوين .

وفي حالة النقل المائي ، تقوم الأوناش الضخمة بتفريغ حمولة الوحدات المستخدمة مباشرة في أحواش التشنوين ، التي تبقى عادة بجوار الميناء ، أو تقوم بتفريغ حمولتها في بناكر ، بسحب منها عن طريق سيور ناقلة ، إلى أماكن التشنوين . وفي حالات قليلة ، وحيث توجد أحواش التشنوين بعيدة عن الميناء ، تستخدم عربات السكك الحديدية في نقل الحمامات إلى هذه الأحواش .

وتجهز المصانع محطة استقبال للحمامات - عادة - يتم بها فرز الحمامات وتصنيفها ووزنها . وتعتبر هذه المحطة أول مراحل « النقل الداخلي بالمصانع » ، حيث يتم تدقيصها بقاطرات خاصة ، إلى أحواش التشنوين عن طريق « الجسر العالي » الذي يرتفع منسوبه تدريجا عن مستوى قضبان السكك الحديدية محطة الاستقبال ، إلى مستوى قضبان السكك الحديدية أعلى صوامع الأفران العالية ، التي تبقى في مجموعات متجاورة في صفوف متوازية . حيث يعلو كل صف منها قضيب سكك حديدية متشعب م القضيب الرئيسي على الجسر العالي ، بحيث يمكن تفريغ عربات القطارات بها ، أو بمحوش التشنوين مباشرة .

وصوامع التشنوين تبقى من الخرسانة المسلحة ، بحيث تميل جوانبها وقاعدتها في اتجاه فتحات نهايتها السفلى ، التي تطلقها سدادات مختلفة التصميم ، تعتمد في عملها على وزنها الذي يسبب إغلاقها التحكم للفتحة . وعند الحاجة إلى تفريغ الحمامات ، ترفع هذه السدادات بروافع هيدروليكية (في عربات تسمى عربات الميزان) ، وبعد الحصول على الكمية المحددة ، تهبط الروافع الهيدروليكية لتسقط السدادة بتأثير ثقلها ، وتطلق الفتحة . ولقد تعدد تصميم هذه السدادات ، فنه النوع الأسطواني ، ومنها النوع المثلثي الأبواب ،

ومنها النوع الجهم بسور معدنية تتحرك أسفلها ، وهي جميعها وان اختلفت في التصميم ، إلا أنها تؤدي نفس العمل .

وتجهز صوامع التشوين في الأفران الحديثة عند نهاية فتحاتها السفلية ، بهزازات أوتوماتيكية ، تطلقها تماما ، وتقع هبوط مشحوناتها إلا عند تشغيل هذه الهزازات ، التي تتلقى إشارات كهربية من أجهزة التحكم الخاصة ، فتعمل للفترة الزمنية التي تسمح بنزول كمية الحامة المطلوبة ، إلى عربات شحن الفرن وحسب برنامج شحن الفرن الدقيق ، بناء على إشارة من الميزان إلى جهاز التحكم . كما تجهز الصوامع حاليا بأجهزة قياس إلكترونية ، تحدد الحجم الذي تشغله الحامة بها ، والتي تتلخص فكرتها في وضع عنصر مشع في أحد جوانب الصومعة ، وجهاز استقبال في الناحية المقابلة ، فوجود الحام بينها ، يمنع مرور الأشعة ، وبالتالي يمكن تحديد الحجم الذي تشغله الحامات .

المعدات المستخدمة بوحدة الصوامع وأحواش التشوين :

تجهز الوحدة بالعديد من المعدات التي تستخدم في أغراض العمليات المختلفة التي تؤدي بها وهي :

(أ) عربات التوزيع :

تشون الحامات بالأحواش حسب أنواعها في أكوام عديدة ، بينما يختص عدد معين مع صوامع التشوين بالبنكر ، لكل من هذه الحامات ، ويتم السحب منها لتغذية الأفران . وعليه يجب إمداد هذه الصوامع بالحامة المقابلة من حوش التشوين ، ويتم ذلك بشحن عربات خاصة تتحرك على قضبان السكك الحديدية بأعلى الصوامع تسمى « عربات التوزيع » التي تقوم بدورها بتفريغها في الصوامع المخصصة لها ، وتتحرك هذه العربات إما بقيادة السائقين إما أوتوماتيكيا ، وتراوح حمولتها بين ٢٥ و ٥٠ طنا ويتجه التصميم الحديث إلى الاستغناء عن هذه بسبب الحاجة الدائمة إلى صيانتها لكثرة أعطالها ، واستخدام السيور في توزيع المشحونات على الصوامع مباشرة .

(ب) الوثش العالي :

والذي يتحرك على قضبان حديدية خاصة ، بطول حوش التشوين المخصص له ، ويستخدم في تشوين الحامات ، بسحبها من مكان تفريغها أمام فتحات التفريغ بالبنكر إلى أكوام

خاصة بكل منها . ويستخدم في شحن عربات التوزيع للمحطات الصوامع التسوين ، وكذا يستخدم أحيانا في عمليات التجنيس .

ونظرا لتصميم الونش وارتفاعه ، وخوفا من تأثير نبعة الرياح على هيكل الونش المعدني ، فإنه يجهز بمجموعة من الفراميل التي تثبت في مكانه ، وتنع حركة أى جزء فيه تحت هذه الظروف . ولسلامة الهيكل المعدني ، حتى لا يتعرض للالتواء اذا ما تقدمت جهة منه عند سيرها عن الجهة الأخرى ، يجهز الونش بمجموعة من الموتورات المعوضة للسرعة ، تزيد في سرعة الجهة المتأخرة ، وتعمل أوتوماتيكيا بمجرد أن تتجاوز المسافة بين الجهتين قدرا معيناً . هذا بالإضافة الى تزويد الونش بالعديد من أجهزة التنبيه ، التي تعمل بمجرد وجود أى خلل في الونش ، فينبه السائق ويتوقف لحين عودة الأمور لسيرها المألوف .

ونظرا للترابط الوثيق بين قدرة الونش الإنتاجية وتشغيل الفرن تشغلا منتظما ، تحدد طاقة الونش الإنتاجية تحديدا مضبوطة حسب العلاقة التالية :

$$ط = \frac{٦٠}{ن} \times ح \times ك$$

ط = الطاقة الإنتاجية طن / ساعة أو متر مكعب / ساعة .

ك = ثابت يراعى درجة امتلاء كباش الونش .

ز = زمن دورة الشحن والتفريغ (دقيقة) .

يضاف إلى ذلك ، الوقت اللازم لتحركات الونش من مكان تشوين أى خامة الى الأخرى . وفي البلدان الباردة الجو ، تضاف أوقات لعمليات تنظيف كباش الونش من الخامات التي تلتصق به بعد كل فترة تشغيل . نتيجة ازدياد رطوبة المشحونات .

(ج) عربة الميزان :

وهي تشابه في شكلها الخارجى عربة التوزيع ، غير أنها تعمل أسفل البنّاكر والصوامع ، وهي مجهزة بمخزينين على هيئة مخروطين ، يفصل كلا عن الآخر ، جدار من الصاج ، ويرتكز كل مخروط على ميزان حساس ، يقوم بتسجيل التغير في وزن محتوياته . وهي تقوم بسحب الخامات من صوامعها حسب الأوزان المحددة من قبل لمكونات الشحنة ، ثم تفريفها في عربات شحن الفرن . وتجهز هذه العربات بروافع هيدروليكية ، تستخدم في فتح سدادات الصوامع ، بدفعها من مكانها إلى أعلى ، حيث تنساب الكمية المحددة من كل خامة على حدة

في المخزن المخروطي الفصوص لها ، وفق نظام وترتيب المشحونات المعمول به ، وتجهز العربة بمعدات تمنع فتح أبواب المخروطين أثناء السير ، وأثناء رفع الأزرع الهيدروليكية .

(د) مكينة التجهيز :

تتكون الماكينة من هيكل ضخم يتحرك على قضبان حديدية . تتقل الحفامات بمجموعة من السيور إلى ذراعها . حيث يتم سقوطها . وباستمرار حركة الماكينة من أول مسارها إلى نهايته ، يتم توزيع الحفامات توزيعا دقيقا بطول هذا المشوار ، ويمكن زيادة أو نقص طول الفرع ، التحكم في توزيع الحفامات في الاتجاه العمودي - أي بعرض كوم التشوين - وبالتالي عند وصول الكوم الى الحجم المطلوب ، يتم نقل المكينة الى حوش تشوين آخر ، وتستبدل بمكينة سحب الحفامات ، وهي مكونة من ذراع شبيكية ضخمة ، تتحرك على سطح الأكوام التي سبق اعدادها وتجهيزها . وهي في حركتها تسمح بمرور كمية من الحفام في طبقات متائلة السمك - عموديا على امتداد الكوم - تنزلق عليه ليم تجميعها في مسار محدود في نهايته ، ومنه إلى السيور الناقلة الى الصوامع لشحنها بالقرن .

٥ - وحدة تصنيع ومعالجة الخبث :

يتم تجميع الشوائب الموجودة في مكونات شحنة الفرن العالي ، وبعض العناصر المرغوب تخليص الحديد الزهر المنتج منها ، في صورة خبث يعتبر كناتج ثانوي . وقد ظل هذا المنتج غير مستغل لفترات طويلة ، مما سبب ارتفاع تكلفة الإنتاج . ومع تطور العلم والتكنولوجيا ، استحدثت مجالات عديدة ، أمكن استخدامه بها ، واكتسب نتيجة لذلك قيمة اقتصادية ، خففت من عبء تكلفة إنتاج الحديد الزهر بالأفران العالية ، وكان ذلك دافعا إلى بناء وحدات تصنيع ومعالجة له . يلائم منتجها النهائي ، الاحتياجات التكنولوجية لوجه الاستخدام التالي . ويتم تصنيع الخبث في إحدى الصور التالية ، التي تحدد بالتالي الخواص الطبيعية له ، تبعا للطريقة التي اتبعت في تبريده ، وهي :

(أ) خبث محبب .

(ب) صوف الخبث .

(ج) الخبث الخفاف أو المنقوش .

(د) الخبث المبرد هوائيا .

(١) الخبث المحبب : هو ناتج الخبث السائل المبرد تبريدا مفاجئا ، وبكمية كبيرة من المياه ، ويستخدم في صناعة الأممنت الحديدى ، وهو عادة ناتج الخبث القاعدى . ويشترط فيه ، عدم زيادة نسبة الماجنيزيا عن ٦٪ .

وتتكون وحدة تحبيب الخبث ، من مجارى وأحواض الصب ، ثم مجموعات من الطلمبات تدفع مياه التبريد خلال مواسير خاصة حتى المجارى أو الأحواض ، ثم مجموعات الأوناش المطلوبة لتحميل المنتج ، ووحدات نقل لتسوية الموقع . ووحدات نقل خطوط السكك الحديدية . بالإضافة إلى خطوط سكك حديدية ، متصلة بالأفران تسير عليها قطارات وبواق الخبث السائل ، ثم خطوط سكك حديد نقل المنتج ، وأحيانا صوامع لتخزين المنتج .

(ب) صوف الخبث : والذي يتم إنتاجه بتعرض الخبث السائل إلى أدشاش من الماء المضغوط بضغط عال تسبب تبريده في هيئة شعيرات دقيقة ، تستخدم كموازل لمواسير البخار وخلافه .

(ج) أما الخبث المنقوش : فيتم الحصول عليه بإلقاء الخبث السائل في بركة مياه لا تكن لتبريده تماما ، ونتيجة لتصادم أمجرة المياه لخلال طبقات الخبث ، يكون المنتج في صورة قطع متماسكة خفيفة الوزن ، تستخدم كموازل أعلى المباني . كما يمكن استخدام المنتج في صناعة طوب عازل ذى مواصفات خاصة .

(د) أما الخبث المبرد هوائيا : فيمكن الحصول عليه من إلقاء الخبث السائل ، وتركه ليبرد تلقائيا ، كما يتكون جزء منه مثلا في الطبقة الخارجية الملاصقة لجوانب بواق صب الخبث ، بالإضافة إلى الفترة العلوية المعرضة للجو للخبث بالبواق . وهذا النوع يمكن تكسيه ثم نخله ، للحصول على تدرج حجمى يلائم احتياجات أعمال رصف الطرق ، أو دكات السكك الحديدية .

٦ - ماكينته صب الحديد الزهر :

بسبب الاحتياج للحديد الزهر في الصناعات المعدنية والمسابك ، ولضمان سلسلة واستمرار تشغيل الأفران العالية ، وحتى لا تتأثر هذه بسبب اختناقات المراحل التالية لإنتاج الحديد الزهر بمصانع الحديد والصلب ، تستخدم هذه الوحدات لتستوعب كميات الزهر الزائدة عن حاجة قسم الصلب ، أو التى لا يمكنه استيعابها في وقت معين ، بسبب

أعطال مفاجئة ، في إنتاج قوالب من الحديد الزهر بأشكال وأوزان محددة . يمكن تداولها بسهولة .

وتتكون ماكينة صب الزهر ، من حصرة لا نهائية ، شبيهة بتلك السابق الحديث عنها والمستخدم في التليد ، وتختلف عنها في أن السير الناقل في هذه الحالة ، مكون من مجموعة قوالب من الزهر المهيئتي ، بدلاً بالحديد السائل من مجارى خاصة ، ويعرض سطح المعدن بها أثناء سيرها لأدشاش مياه باردة .

وتضبط بسرعة دوران السير اللانهائي ، بحيث تصل القوالب في نهايتها ، وقد تم تجمد المعدن بها ، فتترك قوالب المعدن السير عند دورانه ليستقبلها موجه خاص يوجهها لعربات التسعن ، التي تنقلها إلى مخازن التشوين داخل المصانع ، أو خارج المصنع لمكان الاستخدام .

وتتبع الوحدة ، وحدة تحضير محلول الجير لتطيقن القوالب خلال دورتها ، حتى لا يلتصق المعدن بسطحها ، ثم مجموعة من الطلمبات لترفع مياه التبريد ، ثم أحواض ترسيب لفصل عوالق راجع مياه التبريد وتنقيتها ، يمكن استخدامها ثانية في دورتها المغلقة .

وتخدم الوحدة مجموعة أوناش ، منها المخصص لرفع البواق الحديد الزهر بسرعة معينة ، تختلف باختلاف ميل البودقة ، وبالتالي تضمن انسياب كمية ثابتة من المعدن من فتحة البودقة طوال زمن الصب منها . وكذا منها أوناش الصالة ، وأوناش المرسبات ، وأوناش أحواض التشوين ، وأوناش سحب البواق ، وأوناش تحريك عربات تحميل المنتج على خطوط السكك الحديدية داخل عنبر الصب ، وحتى حوش التشوين .

ويخضع المنتج من القوالب لمواصفات خاصة ، أهمها التماسق في الوزن ، والتشابه في التركيب ، وسلامة الأسطح ، وانعدام الفراغات الداخلية .

٦ - وحدة طواحين إعداد الطينة الحرارية :

تلقى بالأفران العالية ، وحدة لإعداد الطينة الحرارية بمواصفاتها المختلفة ، حسب متطلبات ومكان التشغيل . وتتكون هذه الطينة من خلطة مكونة من الطينة عالية الألومينا ، وناعم الكوك ، وكسر طوب الشاموت ، مع إضافة القار كإداة رابطة . وتختلف نسبة هذه المكونات حسب نوع الطينة ، والغرض الذي تستخدم من أجله .

وتطحن الطينة المستخدمة في طواحين دورانية ، وأما الطوب فيطحن في طواحين فكية ،

طحنا دقيقا لضمان تناسق الحبيبات ، ونجانس الخلطة المنتجة بعد ذلك . وتراعى الدقة التامة عند خلط المكونات ، لأن أى خطأ يسبب عدم نجانس الخلطة الناجمة ، ويسبب بالتالى عدم مطابقتها للمواصفات المطلوبة . ثم تقلب الخلطة جيدا ، وتترك فترة يعاد بعدها التقليب مرة أخرى وهكذا ، لضمان النجانس التام . ثم تترك بعد ذلك لمدة ٤ الى ٦ أيام ، وتنقل إلى الأفران بعد ذلك ، ليضاف إليها الماء تحت رقابة خاصة ، وذلك قبل استخدامها مباشرة ، حيث أن زيادة نسبة الماء الذى يتبخر بارتفاع حرارة عامود غلق الفرن ، ضار جدا لبطانة الفرن الكربونية .

ولكل مكون من مكونات الخلطة أثره على تحديد نوعيتها ، وبالتالي مطابقتها للتشغيل . فالطينة ذات النسبة العالية من أكسيد الألومنيوم ، والطوب الحرارى ، كسبائها المقساومة لدرجات الحرارة العالية ، وبالتالي تماسكها تحت هذه الظروف . كما أن إضافة الكوك ، تسبب خلق مسامية تكون مسلكا لخروج الأبخرة عند ارتفاع درجة حرارة الخلطة ، وبالتالي تحفظ لها تماسكها .

وتحدد كمية الخلطة المستخدمة فى غلق فتحة الحديد لفرن ما ، حسب بعد قطر بودقة الصهر به ، ففى أمريكا وحسب نتائج تجارب عديدة فى هذا المجال ، أمكن تحديد هذه الكمية بحوالى ٢٢٠ لترا للأفران بقطر أكبر من ٦ أمتار ، وبحوالى ١٦٠ لترا فى حالة الأفران ذات الأقطار الأقل من هذه القيمة .

وتتكون وحدة الطواحين من صوامع استقبال الخامات الأولية ، ثم صوامع تنسوين الخامات . وتجهز هذه بموازين تتحكم فى كمية الحامة الهابطة منها على السير الناقل المركب تحت مجموعة الصوامع ، والذى ينقل الخامات المختلفة فى طبقات تعلو بعضها بعضا ، حسب ترتيب صوامعها إلى الطواحين ، ليتم طحنها وخلطها . وتعبأ الخلطة بعد ذلك فى صناديق خاصة ، لترسل إلى صالة الأفران ، حيث يضاف إليها الماء بمقادير محددة (١٢٪ من وزنها تقريبا) ، ثم يتم تغليطها وتجيسها قبل استخدامها مباشرة .

الباب الخامس

أجهزة القياس والتحكم المستخدمة بالأفران العالية

يستخدم لمراقبة التشغيل بالأفران العالية ، العديد من أجهزة القياس والتحكم ، التي يتولى كل منها إعطاء الصورة الواقعية لحالة العمل ، في يختص بالفرض الذي أنشئ من أجله . وهي تختلف في أسس ونظريات عملها . ومن مجمل الدلالات لهذه الأجهزة التي يتم تجميعها وربطها معا وتحليلها ، يتمكن العاملون بالأفران العالية ، من معرفة ما يجري بداخل الفرن . كما يساعدهم ذلك على التنبؤ بما ينتظر التشغيل من تطورات . وبالتالي القدرة على اتخاذ القرارات والإجراءات التي تمكن من السيطرة التامة على التشغيل ، وتحقيق أهداف الإنتاج كما ونوعا ، وبصورة اقتصادية .

وتنقسم هذه الأجهزة في مجموعها إلى قسمين رئيسيين :-

الأول : ويشمل أجهزة القياس والتسجيل ، والتي تعطى وتسجل القياسات المكلفة بها ، مثل الازدواجات الحرارية ، وأجهزة تحليل الغازات وقياس ضغوطها وكمياتها ، وأجهزة قياس مستوى الشحنة بالفرن ومتابعة هبوطها ، والموازين ، أجهزة قياس كميات مياه التبريد وضغوطها ، الخ .

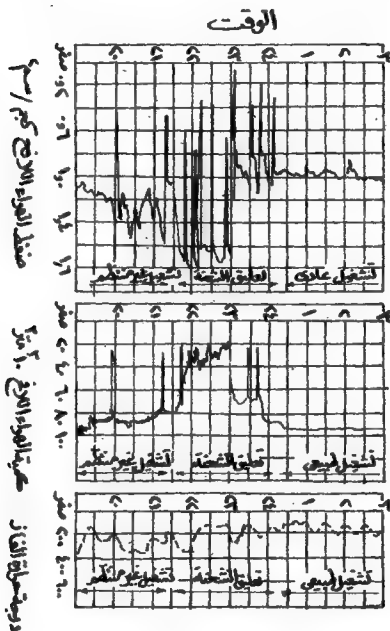
الثاني : ويشمل أجهزة التحكم ، التي يتم تكليفها بالمحافظة على وضع معين محدد ، يتناسب وظروف التشغيل ، عن طريق هيمنتها الأوتوماتيكية (الآلية) على المعدات المتحركة في المراحل المختلفة لهذا الوضع ، مثل أجهزة كمية الهواء اللائح أو درجة حرارته ، أو أجهزة التحكم في نسبة الغازات والهواء ، في عمليات تسخين المسخنات ، أو أجهزة التحكم في كميات المازوت أو الغازات المحقونة ، الخ .

ومن أهم الأجهزة المستخدمة بالأفران العالية ، الأجهزة التالية :

١ - أجهزة قياس كمية الهواء اللائح أو الهواء البارد :

تعتمد هذه الأجهزة في قياساتها ، على تناسب الضغط المتولد عن كمية من الهواء أو الغاز مع مقدار هذه الكمية ، وعليه تركب في مواسير مرور الهواء عند نقط القياس ، ألواح

من الصاج ، بشكل دائرى تقترض المسار ، وتتحرك على محور دوراني رأسى ، يمكنها من اتخاذ أى وضع يتدرج من السباح بفتح المواسير تماما ، أو إغلاقها تماما .



شكل ٢٢ - يحدد نموذجاً لقرارات أجهزة القياس
لفرن عال تحت ظروف تشغيل مختلفة

وقد تكون هذه الألواح - في بعض الأحيان - على هيئة قرص به فتحة أو أكثر بمركزه ، يمكن فتحها أو إغلاقها حسب الحاجة . وعليه فعند تغير وضع الألواح ، للساح بمرور جزء من الهواء ، يتولد خلفها ضغط يتناسب والكمية المسموح بمرورها ، وعليه فقياس الضغط خلف وأمام القرص ، وتحديد الفرق بينها ، يمكن الهيمنة على الكمية المسموح بمرورها ، (الشكل ٢٣) وعليه ، فتحديد فارق ضغط معين والحفاظ عليه ، يعنى السماح بكمية محدودة من الهواء أو الغاز بالمرور ، بمعنى التحكم الكامل في كمية الهواء حسب احتياجات التشغيل . ويمكن بسهولة تركيب أجهزة معايرة تعطى وتسجل الكمية بالتر المكعب المارة خلال وحدة زمنية معينة المقابلة لفرق الضغط للمناجم عن تغير وضع الألواح .

ويستخدم بالأفقران لقياس كمية الهواء الالافح الداخل إلى الأفقران عادة ، الجهاز المعروف باسم « الميزان الالافح » ، والذي يتكون من أسطوانة بشكل دائرى ، يعلقها ويقسمها إلى قسمين لوح فاصل . تلاء بالهواء أو بالزئبق ، وتحرك في مستوى رأسى حركة حرة ، ويركب عند نقطة المركز منها ، مؤشر يتحرك على تدرج يقرأ مباشرة ، أو عن طريق جهاز تسجيل ، كمية الهواء المار بالماسورة ، التى تتناسب وفارق الضغط عند نقطتي القياس المحدتين أمام وخلف الألواح المتصلتين عن طريق مواسير خاصة بفراغ الأسطوانة على جانبي الفاصل ، وبالتالي تتحرك الأسطوانة إلى وضع الاتزان الذى يتناسب وفارق الضغط على سطحي السائل بداخلها من الناحيتين . ويركب على سطح الأسطوانة الخارجى ، ثقل يعادل وزنها ، حتى يضمن لها الحركة الحرة .

٢ - أجهزة قياس ضغط الهواء الالافح أو ضغط الغاز :

يتكون الجهاز من ماسورة حلزونية دقيقة ، يلتحم أحد طرفيها بمصادر نقيط القياس ، ويطلق طرفها الآخر المتصل بمؤشر يتحرك على تدرج معاير من قبل . فزيادة الضغط عند نقطة القياس ، وبالتالي زيادة الضغط داخل الماسورة الحلزونية ، يميل شكلها إلى الاستقامة ، فيتحرك المؤثر إلى القيمة الأكبر ، وبانخفاض الضغط يتحرك المؤثر نتيجة عودة شكل الماسورة إلى الوضع الحلزوني في اتجاه القيمة الأقل .

ويركب جهاز قياس ضغط الهواء الالافح ، عند مدخل الهواء إلى الماسورة الملتفة حول الفرن ، وأحياناً عند مدخل الهواء بكل فتحة هواء بالكوع الكبير . وتنقل القيمة المقاسة

إلى أجهزة تسجيل ، تسجل القراءات ليكن الرجوع إليها على فترات زمنية مختلفة . وبالتالي يمكن الحكم على نفاذية الشحنة ، ذلك أن زيادة الضغط ، يرجع إلى مقاومة عامود الشحنات داخل الفرن لعامود الغازات الصاعدة ، كما أن انخفاضه يعد دليلا على زيادة نفاذية الشحنة ، وبالتالي يمكن اتخاذ الإجراءات التي تتناسب وظروف التشغيل .

أما ضغط الغازات الخارجة من الفرن ، فيقاس عند نقطة أو اثنين بواسطة الغاز أعلى الفرن ، يعطى دلالات هامة عن حالة الفرن ، والتشغيل ، وحالة مجمعات الأتربة ، والحلزونيات ، وتزداد هذه القيمة في الأفران التي تعمل بضغط عال بالقيمة ، وتتراوح قيمة ضغط الغاز بالأفران العالية ما بين ٣ إلى ٦ . ضغط جوى ، بينما تبلغ ١٠ إلى ١٠,٥ جوى في الأفران التي تعمل بضغط عال بالقيمة .

٣ - أجهزة قياس وضبط درجة حرارة الهواء اللافح :

تقاس درجات الحرارة باستخدام الازدواجيات الحرارية ، التي تتكون من سلكين من معدنين مختلفين متلاحمين في نهايتها ، فيعرضهما للحرارة ، ومع اختلاف درجة توصيلها لها ، تتولد بينها قوة كهربائية دافعة ، يمكن قياسها ونقلها إلى تدريج خاص يعطى المقابل لها من درجات الحرارة . وتركب أجهزة قياس درجة حرارة الهواء اللافح الداخل إلى الفرن عند مدخل الهواء إلى الماسورة الدائرية حول الفرن ، وتحدد قيمتها حسب احتياجات التشغيل . وحيث أنه من الضروري لسلامة التشغيل ، ضمان ثبات هذه الدرجة ، لذا تجهز الأفران بأجهزة تحكم تتلقى هزات كهربائية صادرة من ازدواج القياس عند مدخل الماسورة الدائرية حول الفرن ، فإذا حدث وكان هناك اختلاف بين قيمة هذا القياس ، وقيمة درجة الحرارة المطلوبة على جهاز التحكم ، قام ذلك بإرسال إشارة كهربائية إلى زاوية خلط الهواء البارد يفلنها أو يفتحها ، بحيث يتم الحصول على درجة الحرارة المطلوبة تماما .

أما أجهزة قياس درجة حرارة الغازات ، فتركب على مواسير الغاز بموضع أو أكثر ، وهى عبارة عن ازدواجيات حرارية عادية ، تعطى قراءتها لتسجيل بجهاز خاص ليكن مقارنتها بين الحين والآخر ، ذلك أن ارتفاع درجة حرارة الغازات أعلى الفرن ، يدل على سوء تشغيل الفرن ، وعدم الاستفادة التامة من الطاقة الحرارية للغازات في تجهيز المشحونات ، أو يدل على تعليق شحنة الفرن ، أو يدل عند توقف الأفران ، على تسرب

مياه لداخل الفرن تسبب في اشتعال الغاز أعلى الفرن ، أو يدل كذلك على عدم تجانس الشحنة على مقطع الفرن ، إلخ ... ودرجة الحرارة العائدة تتراوح ما بين ٢٠٠° إلى ٣٠٠°م ، ويجب أن لا ترتفع عن ذلك كثيرا ، حتى لا يتسبب ذلك في حدوث أضرار بالغة بأجهزة شحن الفرن .

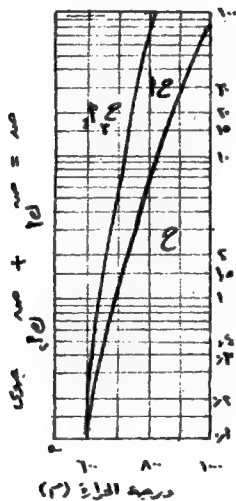
واستخدام الازدواجات الحرارية لقياس درجات الحرارة واسع المجال بالأفران الصالية ، حيث تستخدم في قياس درجات الحرارة للطوب الحرارى المبطن للفرن ، في أماكن متعددة خاصة في منطقة المخروط العلوى وبباقى قاعدة الفرن . كما تقاس درجات حرارة بطانة المسخنات ، ودرجة حرارة عوادم الاحتراق ، ودرجة حرارة المعدن المنتج ، إلخ ... باستخدام الازدواجات الحرارية أيضا .

٤ - أجهزة قياس توزيع درجة الحرارة وغاز ثانى أكسيد الكربون على مقطع الفرن بالمخروط العلوى :

تتناسب درجة حرارة الغازات الصاعدة بالفرن مع نفاذية الشحنة ، وعليه فإذا زادت هذه النفاذية ، كون ذلك سبيلا سهلا لصعود الغازات دون مقاومة ، وقلل من زمن تلامسها ومكونات الشحنة ، وبالتالي تحتفظ الغازات بدرجة حرارتها العالية . بمعنى أنه بقياس توزيع درجة حرارة الغازات الصاعدة على مقطع الفرن عند مستوى معين ، يمكن الحصول على مؤشر دال على كيفية توزيع الشحنة ونفاذيتها بداخل الفرن . كما أن قياس نسبة غاز ثانى أكسيد الكربون في هذه الغازات الصاعدة ، يعطى دلالة على سير عمليات الاختزال بالفرن .

وعليه تجهز الأفران الحديثة ، في مستوى مداخل الهواء اللاقح بجوالى ١٨ مترا ، بأجهزة قياس يمكنها الحصول على عينات من الغاز الصاعد عند هذا المستوى ، عند نقط مختلفة البعد عن منتصف الفرن ، ترسل بعدئذ إلى أجهزة خاصة تقوم بقياس درجة حرارتها ، وتحديد مكوناتها ، خاصة نسبة غاز ثانى أكسيد الكربون بها . ومن هذه الأجهزة جهاز « بوخر » (الشكل ٢٤) والنزى يتكون جسمه من الصاج ، بشكل مستطيل عرضه ١٥ إلى ٢٠ سم ، وبارتفاع ٧٠ إلى ٨٠ سم ، يدخل من خلال فتحة بمقدار الفرن ويصل حتى منتصفه ، ويصم السطح الأسفل لهذا الجهاز بشكل تدريجى ، تنتهى كل درجة عند مكان

معين من قطر الفرن عند المستوى المقابل للفتحة ، ويبلغ عددها ٣ إلى ٦ درجات منفصلة بعضها عن بعض . وتوجد بداخل كل درجة ماسورة مفرغة ، يمكن من خلالها سحب كمية من الغاز لتحليلها ، ومعرفة نسبة ثاني أكسيد الكربون بها كما يوجد بهذه الماسورة ازدواج حرارى لقياس درجة حرارة الغازات الصاعدة عند البعد المحدد بنهاية الدرجة . وعليه



شكل رقم ٢٤ - يحدد الضغوط المتولدة نتيجة تفاعل كربون الكوك مع أكاسيد الحديد

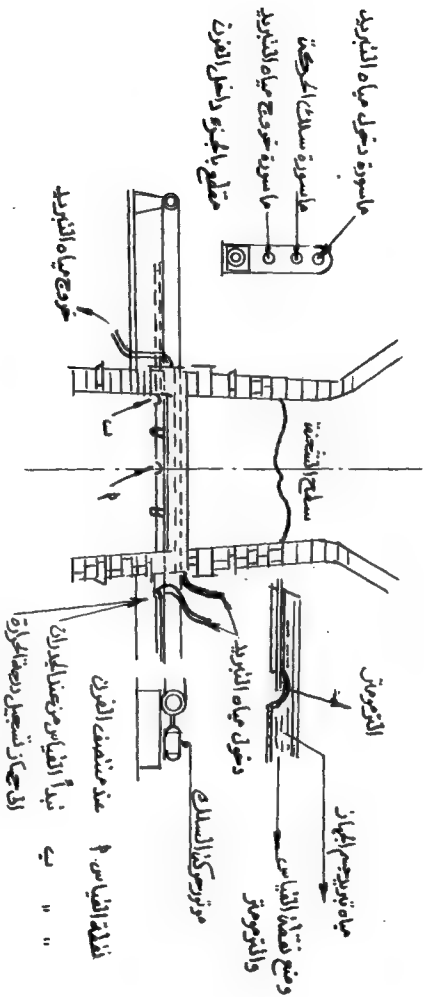
فتوصيل المواسير ، وبالتالي العينات إلى أجهزة قياس وتسجيل ، يمكن دواما الحكم على مدى نفاذية الشحنة ، وكذا مدى تقدم سير عملية الاختزال . وبالتالي القدرة على اتخاذ القرارات التي تكفل سلامة التشغيل .

ومن هذه الأجهزة أيضا ، الجهاز المعروف باسم جهاز « لوتز » والذي يتكون من جسم من الصاج ، بشكل يماثل شكل الجهاز السابق ، ولكن يطول يغطي مقطع الفرن عند مستوى تركيبه ، ويتم تبريد الجهاز باستخدام الماء خلال مواسير خاصة مركبة به ، وتوجد بالسطح السفلى من الجهاز ، فتحة يتحرك خلالها بواسطة سلك خاص جهازان لأخذ العينات ، مركب معها ازدواجان حراريان . وتتحرك أجهزة قياس أخذ العينات في شكل تبادل ، بحيث لو كان أحد الجهازين عند منتصف الفرن ، يكون الجهاز المقابل في الطرف الثاني عند جدار الفرن .

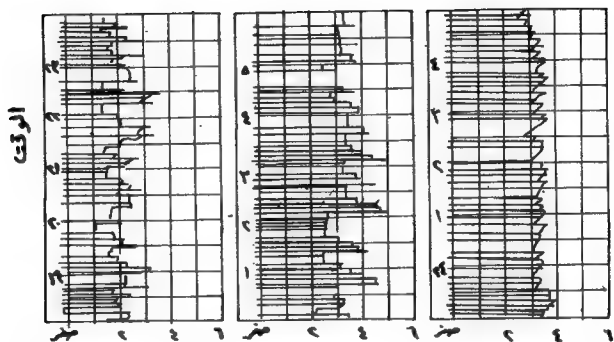
ويتشغيل الأجهزة ، يمكن الحصول على عينات من الفازات الصاعدة عند أبعاد ثابتة بمقطع الفرن ، وكذا قياس درجة حرارتها . وتستغرق حركة جهاز أخذ العينة من جدار الفرن حتى نهاية مشواره عند منتصف الفرن ٣٠ دقيقة . وتؤخذ العينات بدءا من جدار الفرن حتى منتصفه ، حيث تفلق مأخذ جهاز العينة الأول ، لبدء تسجيل قراءات الجهاز الثاني الذي يبدأ الحركة من جدار الفرن الآخر وهكذا .

٥ - جهاز قياس مستوى شحنة الفرن :

ويسمى جهاز « المحسسات » ، ويتكون من عامودين من الصلب ، يدخل كل منهما الفرن خلال فتحة خاصة بأعلاه ، ويربط من طرفه العلوى بسلك يعمل عن طريق موتور خاص في غرفة الماكينات الفرن ، فتند الرغبة في إضافة شحنة جديدة بالفرن ، تسحب المحسسات إلى أعلى ، خارج الفرن ، ثم تترك لتهبط بعد هبوط الشحنة من فوق الجرس الكبير داخل الفرن ، حيث يلامس الطرف الثاني للمحسسات سطح المشحونات ويبدأ الحركة معها ، مسجلا عن طريق جهاز خاص ، تغير بعد سطح الشحنة عن مستوى الشحن ، ويتابعة ذلك ، ومن الشكل الذي يسجله جهاز التسجيل ، يمكن الحكم على كيفية هبوط الشحنة بداخل الفرن وهل يتم تدريجيا وهو المطلوب ، أم فجائيا وهو غير المطلوب . وعند وصول بعد سطح الشحنة داخل الفرن إلى القدر المحدد له ، ترفع المحسسات لتماد إضافة شحنات جديدة وهكذا .



شكل رقم ٢٥ - جهاز لوزن كرات اقية توزيع النفايات على مصانع الفرن



شكل ٢٦ - تسجيلات جهاز المجسات تحت ظروف تشغيل مختلفة

وقد أمكن ميكنة هذه العمليات ، حيث ترسل إشارة كهربائية من جهاز قياس عمق المجسات عند وصولها إلى المدى المحدد لها ، إلى محركها الذى يبدأ فى سحبها ، ويعطى هذا إشارة بدوره إلى بلوف معادلة الضغط فوق الجرس الكبير ، وأخرى إلى موتورات عربات شحن الفرن ، وبانتهاء التعادل ، تعطى إشارة لموتور فتح الجرس الكبير ، لتبسط الشحنة أعلاه لداخل الفرن ، ويعاد إغلاقه ، ثم ترسل إشارة لمعادلة الضغط بين الجرسين ، وأخرى لبداية هبوط المجسات مرة ثانية وترسل إشارة ثالثة ليفتح الجرس الصغير ويغلق قبل أن تصل عربات الشحن للفرن إلى القمة ، فتلقى بشحنتها على الجرس الصغير الذى يلقيها بدوره على الجرس الكبير ، وفى خلال ذلك ، تعطى إشارة أخرى إلى هزازات صوامع الخامات ، لتسحب منها الكمية المثلثة للشحنة العرية التالية . وهكذا حتى تكتمل الشحنة فوق الجرس الكبير عندما تصل المجسات الى العمق المحدد تصاد الكرة مرة أخرى وهكذا . وعند حدوث أى خلل فى أى خطوة خلال هذه الحلقة من العمليات ، تتوقف الخطوات التى تليها أوتوماتيكيا ، إذ أن إشارة الأمر بيده عمل أى خطوة ، ترسل من جهاز التحكم عند انتهاء الخطوة السابقة تماما .

٦ - أجهزة قياس كمية الهواء الداخلية خلال كل فتحة من فتحات النفخ :

لما كان انتظام هبوط الشحنة داخل الفرن من أهم أساسيات التشغيل ، وكان فى الإمكان تخيل أن منطقة الأكسدة عند مستوى الودنات ، تمثل نهاية قعر تهبط المشحونات من خلاله إلى بودقة الصهر ، ولما كانت أبعاد منطقة الأكسدة ، وهى أيضا مكان أو موضع فتحة نهاية القمع ، تعتمد أساسا على كمية الهواء الداخل من الودنة المقابلة ، لذلك تتضح ضرورة الهيمنة على هذه الكمية ، بحيث تتساوى لكل الودنات ، ما أمكن ذلك . وبالتالي ، ينتظم هبوط الشحنة داخل الفرن ، موزعا على مقطع الفرن عند أى مستوى . ولهذا تتركب حاليا أجهزة لقياس هذه الكميات ، لا تختلف فى عملها عن بقية أجهزة قياس كميات الغاز والهواء ، والسابق شرحها - عن طريق حاجز يركب فى الكوع الكبير - يمكن زيادة أو خفض هذه الكمية ، بحيث تتساوى بكل فتحات النفخ . وفى الماضى ، استخدمت مواشير على هيئة (U) ، كانت تملأ بالماء ، لقياس اختلاف الضغط بين مدخل الودنة ونقطة الصفر الافتراضية - وهى نقطة قياس فى الماسورة الموصلة للهواء اللاصق - وبذلك أمكن تحديد كمية الهواء الداخلة لكل فتحة ثم الهيمنة عليها . وزيادة كمية الهواء الداخلة من ودنة ما ، يعتبر دليلا على زيادة نفاذية الشحنة فى المستويات أعلى هذه الودنة ناحية الفرن التى تقع

بها ، وبالتالي يمكن عن طريق تغيير نظام الشحن ، إضافة شحنات بهذا الجانب من الفرن ، تؤدي إلى إقلال التفاعلية ، وتعمل على تحسين توزيع الغازات الصاعدة على مقطع الفرن كله .

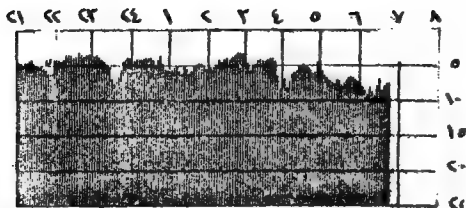
٧ - أجهزة تحليل الغازات :

بالإضافة إلى ما سبق الحديث عنه من أجهزة القياس التي تعتمد عمليات الأفران العالية ، تجهز غرف مراقبة تشغيل الأفران ، الشكل (٢٧) ، بأجهزة خاصة تمكن من تحليل الغازات الصاعدة . فيوجد جهاز لقياس نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون ، وآخر لقياس نسبة غاز أول أكسيد الكربون ، وثالث لتحديد نسبة الهيدروجين ، ويعرف هذه النسب بالغازات الصاعدة ، تحدد نسبة غاز النتروجين .

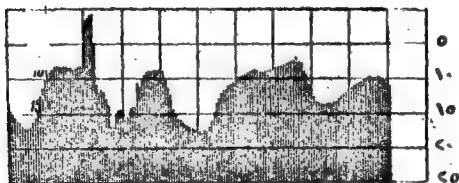
وتعتمد هذه الأجهزة في قياساتها ، على اختلاف خواص الغازات المذكورة ، فنجد مثلا أن غاز ثاني أكسيد الكربون يتمتع بمخاصية التوصيل الجيد للحرارة ، والتي تفوق بكثير مثيلاتها بالنسبة لباقي الغازات ، وبالتالي فيلزم غاز الأفران العالية ، على موصل حراري ، وقياس مقاومة هذا الموصل التي تعتمد على التوصيل الحراري للغاز ، يمكن قياس نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون بها ، وقياس الحرارة المتولدة عن احتراق كمية من الغاز ، يمكن تحديد نسبة غاز أول أكسيد الكربون . أما كمية النتروجين فهي عبارة عن المقدار الباقي .

وتجتمع جميع هذه الأجهزة في حجرة أقرب ما تكون للفرن العالي ، تسمى غرفة مراقبة تشغيل الفرن ، بحيث يسهل على العاملين به قراءتها ، وتحليل مدلولاتها ، والربط بين المؤشرات المختلفة ليقية أجهزة المراقبة .

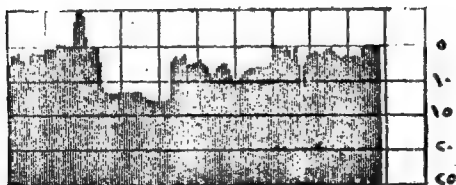
وبالتالي ، الحكم على التشغيل ، وسهولة اتخاذ القرارات . كما تضاف بالغرفة ، أجهزة أخرى لقياس كمية وضغط مياه التبريد الرئيسية ، وضغط البخار في شبكاته ، وضغط الغاز النقي ، وأجهزة مراقبة تشغيل المسخنات ، وأجهزة مراقبة الشحن ، وأجهزة اتصالات داخلية ، وأجهزة الربط المباشر بين الفرن ووحدات نفخ الهواء ، وبين الفرن ووحداته المساعدة جميعها ، وأحيانا أجهزة تليفزيونية تنقل عمليات الصالة لغرفة المراقبة إلخ . بمعنى أنها تعتبر غرفة عمليات متكاملة تمثل القلب النابض للفرن . وهي مكان الوجود الدائم للمسؤول الأول عن التشغيل .



الجهة الجنوبية بالفرن



الجهة الشمالية بالفرن



الجهة الغربية بالفرن

النسبة المئوية لغاز ثاني أكسيد الكربون

شكل رقم ٢٧ يبين نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون غاز أحد الأفران العالية
مقاماً في جهات مختلفة وتحت مستوى حلق الفرن مباشرة .

الباب السادس التفاعلات الكيميائية بالفرن العالي

تعرض المشحونات بالفرن العالي ، إلى العديد من التغيرات الكيميائية والفيزيائية خلال رحلتها من أعلى الفرن ، وحتى الحصول عليها في هيئة معدن أو خبث منصهر في أسفله . وكذا الحال لمواد غازات الأفران المساعد . وهذه التغيرات تتولد نتيجة العديد من التفاعلات التي تتم وفقا لأسس ونظريات علمية ثابتة .

ولكى يتمكن القارئ من تفهم ما يحدث بالفرن من تفاعلات ، نجد لزاما ، التعرض لشرح الأسس النظرية التي تتحكم في أمهما ، وتكشف الظروف التي تتم فيها ، وبالتالي توضيح كيف يمكن الميعة عليها . وهي :

١ - الاختزال :

هو عملية استخلاص الأوكسجين المرتبط بالمعدن مكونا أكاسيده وتخليصه منه ، ويتم ذلك عن طريق :

(أ) تفتت الارتباط بين المعدن والأوكسجين بالتسخين حسب مايلي :

أكسيد المعدن « بالتسخين » — المعدن + أوكسجين .

(ب) استخدام مختزل يتمتع بقدرة وشراة للارتباط بالأوكسجين تزيد على قدرة المعدن المطلوب اختزاله ، بشرط أن يتميز ناتج هذا الارتباط بالثبات تحت ظروف الاختزال المحيطة . بمعنى أن :

أكسيد المعدن + مختزل — المعدن + أكسيد المختزل

م + أ خ — م + خ

حيث م = معدن ، خ = مختزل .

كما يمكن أن يختزل أكسيد المختزل أكسيد المعدن الآخر وكما يلي :

أكسيد المعدن + أكسيد المختزل — المعدن + أكسيد أعلى للمختزل .

م + أ خ — م + خ أ

وبهذا التعريف ، يمكن القول بأن تحول أكسيد معدن ما إلى أكسيده الأقل درجة ، يعتبر اختزالا له ، وتبين العلاقة هذه كالاتي :



شكل ٢٨ يحدد العلاقة بين لوغاريتم ضغط التصلب لبعض الأكاسيد ودرجة الحرارة

$$\begin{array}{l} \text{م} + \text{م} \xrightarrow{\text{أ}} \text{م} + \frac{1}{2} \text{أ} \\ \text{م} + \text{م} \xrightarrow{\text{أ}} \text{م} + \text{أ} \end{array}$$

وتغليص المعدن من الأوكسيجين المرتبط به عن طريق اختزال أكاسيده ، يلعب دورا أساسيا في الصناعة الميتالورجية ، حيث يتم به الحصول على معادن الحديد والرصاص والقصدير ، وعدد آخر من المعادن من خاماتها .

وهي تكون أكسيد المختزل الأكثر ثباتا تحت الظروف المحيطة بالتفاعل ، أن « الشغل الأعظم » لبناء هذا الأكسيد ، أقل من الشغل الأعظم لبناء أكسيد المعدن ، بمعنى ش غ — ش أ
حيث أنه بدون ذلك التبرط ، لا يتم التفاعل في الاتجاه المحدد بالسهم عاليا ، وينتج من ذلك أن « ضغط تحلل » الأكسيد المختزل تحت الظروف المحيطة بالتفاعل ، أقل من ضغط تحلل أكسيد المعدن .

وحيث أن الشغل الأعظم وضغط التحلل يمكن ربطهما بالعلاقة التالية :

$$\text{ش. د. لو ض م} - \text{ش. د. لو ض م} = \text{ش. د. لو ض م}$$

$$\text{أى أن } \dots \text{ لو ض م} - \text{لو ض م} = \text{ش. د. لو ض م}$$

$$\text{أى أن } \dots \text{ ض م} - \text{ض م} = \text{ش. د. ض م}$$

حيث ث = الثابت العام للغازات

د = درجة الحرارة المطلقة

ض م = ضغط التحلل لأكسيد المعدن .

وهي هذا أنه كلما انخفض ضغط التحلل لأكسيد ما ، كلما أصبح هذا الأكسيد قادرا على انتزاع الأوكسيجين من أى أكسيد له ، تحت ضغط تحلل أكبر منه (تحت ظروف معينة من الحرارة والتركيز) .

وقد قام العلماء بتحديد ضغط التحلل لمجموعة من الأكاسيد تحت ظروف متغيرة لدرجات الحرارة ، كان من نتائجها الحصول على العلاقات المصددة بالشكل التالى الشكل (٢٨) . الذى يحدد هذه العلاقة ، حيث يختزل أى معدن أكسيد المعدن الذى يصلوه .

والشكل يحدد كذلك التخلل الأعظم اللازم لأكسدة أى معدن فى جو من الأوكسيجين عند درجة حرارة معينة .

ويلاحظ أن فى درجات الحرارة أقل من ٥٧٠°م ، (نقطة تلاقي الخططين المنثلين لضغط تحلل أكسيد الحديد المغناطيسى وأكسيد الحديدوز) ، أن ضغط تحلل أكسيد الحديدوز أكبر من ذلك الخاص بتحلل أكسيد الحديد المغناطيسى ، (ح ٣ ا) ، بمعنى أن (ح ١) غير ثابت فى درجات الحرارة التى تقل عن هذه الدرجة ، وأن تحلل (ح ٣ ا) فى هذه الحال يكون كالآتى :



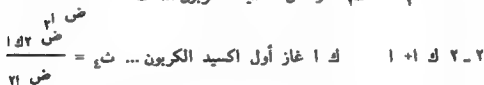
مباشرة ، كما يلاحظ من الشكل صعوبة اختزال الأكاسيد ذات ضغط التحلل الصغيرة ، مثل أكسيد السيليكون وأكاسيد المنجنيز . غير أن اختزالها إلى سيليكون ومنجنيز ، يحدث ونسبة قليلة فى تفاعلات الأفران العالية ، بشرط توافر نسبة عالية من غاز أول أكسيد الكربون ، وفى وجود الحديد الذى يذيب السيليكون والمنجنيز المتكونين عند درجات الحرارة العالية ، وذلك حسب العلاقة التالية :



المقصود بوجود رمز المنصر بين القوسين أنه فى حالة ذوبان فى الحديد .

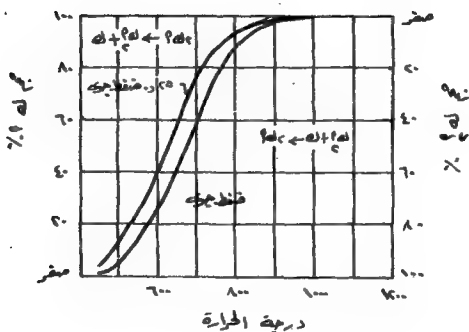
٢ - مجموعة الكربون والأوكسيجين :

هذه المجموعة تضم العديد من المركبات التى تتجم عن التفاعلات التالية :



ونظرا لتضائل تركيز الأوكسجين في حالة الاتزان ، فإن ثابتي التفاعلين (١) ، (٢) يكونان كبيرين لدرجة أنه حدوث التفاعل في الاتجاه العكسي ، يكون مستحيلا عمليا ، كما يلاحظ أن :

(١) التفاعل رقم (٣) في درجات الحرارة أقل من ١١٠٠ مطلقا ، لا يمكن ان يتعكس



شكل ٢٩ - اتزان التفاعل
(تفاعل بودروبيك)

اتجاهه ، بينما تنعكس العلاقة المحددة عالياً في درجات حرارة أعلى من ذلك .
(ب) أن التفاعل رقم (٤) لا يعكس اتجاهها إلا في درجات حرارة أعلى من ٢٥٠٠° مطلقة .

وعليه يمكن القول ، بأن (ك ١) لا يمكن أن يتحلل إلى مكوناته بالحرارة المحيطة بظروف تشغيل الفرن العالي ، بينما يتحلل (ك ١) حسب المعادلة :

$$٢ \text{ ك } ١ \text{ — } ٢ \text{ ك } ١ + ١ \text{ ك } ١$$

في درجات الحرارة وليس إلى كربون وأوكسجين .
(ج) في درجات الحرارة أعلى من ٩٠٠° م وفي وجود الكربون ، يتحلل (ك ١) حسب الاتي :



وعليه يتضح أنه في درجات الحرارة العالية ، وفي وجود الكربون ، لا يوجد سوى غاز أول أكسيد الكربون (ك ١) فقط في حالة الثبات .

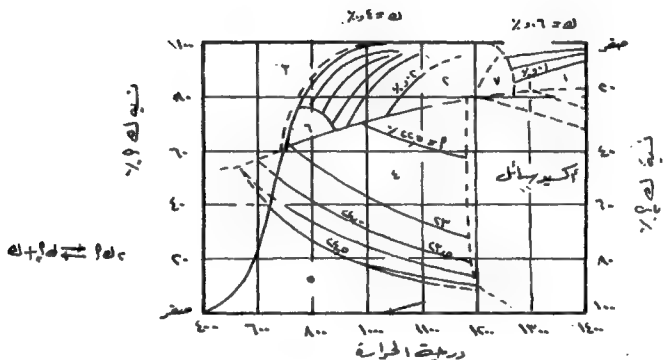
٢ - تفاعل بيل وتفاعل بودوارد :
بجمل التفاعل رقم (٣) ،



مكانة خاصة في الميتالورجيا ، خاصة في حالة اختزال الأكاسيد . ويسمى عند حدوثه في اتجاه السهم « تفاعل بيل » وعند حدوثه في الاتجاه العكسي « تفاعل بودوارد » نسبة إلى مكتشفه . ويحدد الشكل (٢٩) ، هذه العلاقة لنسب مختلفة من غازي (ك ١) ، (ك ٢) في حالة الاتزان ، حيث يبلغ ضغط المجموعة في أحدهما ١٠٠ جوى ، وللأخرى ٢٥٠ جوى . ويتبين من الشكل ثبات أول أكسيد الكربون في درجات الحرارة العالية ، بينما يكون (ك ١) في حالة الثبات في حالة درجة الحرارة المنخفضة فقط .

وكل من تفاعل بودوارد وبيل يتأثر بالضغط طبقاً لوشاتيليه ، إذ أن ازدياد الضغط ، يدفع بالتفاعل في اتجاه تكوين ثاني أكسيد الكربون ، والكربون ، وخفض الضغط يدفعه الى اتجاه تكوين أول أكسيد الكربون . بمعنى أنه في درجة الحرارة الثابتة ، ولكي تظل المجموعة في حالة اتزان ، يجب أن تزداد نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون إلى أول أكسيد الكربون ، كلما زاد الضغط الكلي للمجموعة .

كما يتضح من الشكل (٣٠) أن البعد بين الخط المثل لملاحة بودوارد والمنحطوط
المثثلة لحالة الاتزان لأكاسيد الحديد المختلفة ، إنما يمثل في الواقع مقياسا لقدرة الاختزالية
للغاز .



شكل رقم ٣٠ - اتزان المجموعة : حديد - أكسجين - كربون (كم إم)

٣- اختزال أكاسيد الحديد بغاز أول أكسيد الكربون :

يلاحظ أن أكسيد الحديد، له ضغط بخار أكبر من زميله أكسيد الميديوز وأكسيد الماغنيت، وأنه في درجة الحرارة ١٤٠٠°K يصل الضغط الجزئي للأوكسيدين الناتج من التحلل إلى واحد ضغط جوى، وعليه يتحلل أكسيد الحديد - المرض للجو - إلى أكسيد الماغنيت والأوكسيدين، حسب التفاعل التالي:

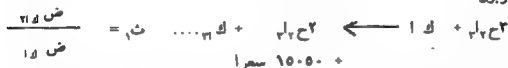


بينما تتلاق الخطوط المنعكسة لتحلل أكسيد الحديد المغناطيسي وأكسيد الحديدوز عند درجة حرارة ٥٧٠°، ويقع الخط المنعكس لعلاقة تحلل أكسيد الحديد المغناطيسي في درجات الحرارة التي تزيد على هذه الدرجة أعلى زميله الخاص بتحلل الحديدوز.

ويعني هذا كله، أنه يمكن ترتيب أكاسيد الحديد حسب قدرتها على الاستفناء عن الأوكسجين المتعد بها وفي درجات الحرارة أعلى من ٥٧٠°، على النحو التالي :

أكسيد حديدك - أكسيد الحديد المغناطيسي - أكسيد الحديدوز ، بمعنى أنه بتعرض هذه الأكاسيد للاختزال في درجات الحرارة أعلى من 570°م (بغاز أول أكسيد الكربون مثلا) فإنها تختزل على النحو التالي :

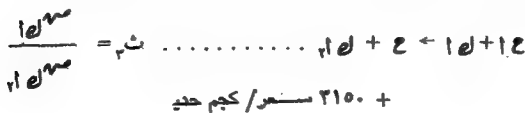
١- أكسيد حديدك + غاز أول أكسيد الكربون - أكسيد الحديد المغناطيسي + ثاني أكسيد الكربون



٢- أكسيد الحديد المغناطيسي + أول أكسيد الكربون - أكسيد الحديدوز - ثاني أكسيد الكربون



٣- أكسيد الحديدوز + أول أكسيد الكربون \rightarrow حديد + غاز ثاني أكسيد الكربون



وعليه فبتسخين الهيماتيت في جو مختزل، يتحول أولاً إلى أكسيد الحديد المغناطيسي، ثم باستمرار رفع درجة الحرارة، وزيادة تركيز عامل الاختزال، يختزل أكسيد الحديد المغناطيسي إلى أكسيد الحديدوز، وأخيراً وباستمرار رفع درجة الحرارة وزيادة تركيز المختزل، يختزل الأخير إلى حديد. وبالمثل بتسخين خام الماجنتيت في جو مختزل، تصبح السلسلة كالآتي:

ماجنیٹ (آکسید الحدید المغناطیسی) — آکسید حدیدوز — جدید .

ومن عاليه يتضح أن ثابت التفاعل (ث_١) أقل من (ث_٢) وهذا بدوره أقل من .
كما يتضح أن التفاعل الأول ، غير قابل الحدوث في الاتجاه المضاد للسهم ، وأنه بأقل
كمية موجودة من غاز أول أكسيد الكربون ، في خليط منه مع غاز ثان أكسيد الكربون
يختزل أكسيد الحديد إلى أكسيد الحديد المغناطيسي مباشرة .

ويلاحظ من الشكل (٦٥) أن الخط الذي يمثل اختزال H_2O إلى (ح ١)، ينتج مع ارتفاع درجة الحرارة إلى أسفل، بمعنى انخفاض نسبة H_2O اللازمة للتوازن مع انخفاض درجة الحرارة. ويمكن تعليل ذلك أن التفاعل:



تفاعل ماضٍ للحرارة ويعني ذلك أن أية زيادة في درجة الحرارة، تساعد استمرار التفاعل في اتجاه السهم، أي خفض ثابت التفاعل (ث) أي تخفيض نسبة (ك) إلى (ك) اللازمة للتوازن.

كما يلاحظ أن الخط المين للعلاقة المحددة لاختزال أكسيد الحديدوز إلى حديد، يتجه لأعلى مع ارتفاع درجة الحرارة، وذلك أيضا طبيعي حيث أن التفاعل:



أى تفاعل طارد للحرارة، وبالتالي فإن زيادة الحرارة تخفض من سرعة التفاعل في

اتجاه السهم ، بمعنى زيادة النسبة $\frac{K}{A}$ اللازمة للتوازن ، وبالتالي نلاحظ أن

كما يلاحظ ثلاثي هاتين العلاقتين معا عند درجة ٥٧٠°م، وهي درجة الحرارة التي يتساوى عندها ضغط التحلل لكل من أكسيد الحديد المغناطيسي وأكسيد الحديدوز

أما العلاقة المحددة لاختزال أكسيد الحديدك، فنظراً إلى أن نسبة (ك أ) اللازمة

للاتزان بالغة الانخفاض ، فإن الخط الذى يمثل هذه العلاقة يكاد ينطبق على محور درجات الحرارة عند ١٠٠٪ (ك أ) .

وتقسم المساحة المحددة تحت الخط المحدد لعلاقة يودوارد إلى ثلاث مناطق .

١ - المنطقة الأولى « السفلى » ، وحيث نسبة (ك أ) في غازات الاختزال مرتفعة ، ونسبة (ك أ) محدودة . وفى هذه المنطقة يتم اختزال أكسيد الحديد إلى أكسيد الحديد المغناطيسى تماما ، بينما لم يبدأ بعد اختزال أكسيد الحديد المغناطيسى إلى أكسيد الحديدوز ، بمعنى أن هذه المنطقة تشمل منطقة ثبات أكسيد الحديد المغناطيسى ، فلو حدث وأن وجد أكسيد حديدوز في هذه المنطقة (تحت ظروف الحرارة ونسب غازى أول أكسيد الكربون) ، وتم أكسدته حسب المعادلة :



٢ - المنطقة الوسطى ، وتحتل منطقة ثبات أكسيد الحديدوز ، بمعنى أنه في حالة وجود أى أكسيد حديد مغناطيسى في ظروف هذه المنطقة ، يتم اختزاله إلى أكسيد حديدوز ، كما أنه إذا لم يوجد الحديد كمتن بها ، لم أكسده حسب المعادلة الآتية :



وذلك لأن نسبة (ك أ) في هذه الحالة ، تفوق نسبة الاتزان الديناميكي للتفاعل .

٣ - المنطقة العليا : حيث يوجد معدن الحديد بصورة ثابتة ، بمعنى أن أى أكسيد للحديد يوجد تحت الظروف المحددة للمنطقة يختزل الى معدن ، وذلك لارتفاع نسبة (ك أ) .

كما يتضح من الشكل نفسه ، أنه للحصول على الحديد باختزال أكاسيده ، يجب أن تكون نسبة أول أكسيد الكربون في الغاز المختزل على الأقل ٦٥٪ والحرارة على الأقل ٧٠٠° م . ومع استمرار الاختزال تزداد نسبة (ك أ) ، وتنخفض نسبة (ك أ) ، بحيث يصبح هناك احتمال الوصول إلى اتزان للمجموعة ، بمعنى توقف التفاعل .

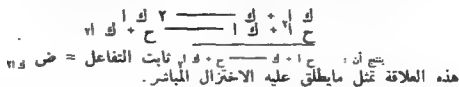
غير أن ذلك غير ممكن في حالة الأفران العالية . لانعدام احتمال الوصول إلى هذا التوازن تحت ظروف التشغيل العادية ، بالإضافة إلى وجود الكوك الحامى للكربون بالفرن . وحسب تفاعل يودوارد وبيل ، وفى درجات الحرارة أعلى من ٧٠٠° م ، يتم التفاعل :



بمعنى ، استهلاك (ك أ) الناتج من الاختزال ، وبالتالي فلا يمكن الوصول بأى حال إلى

الاتزان ، حيث أن الاختزال يستهلك كل (ك أ) الناتج من التفاعل عليه ، كما أن هذا التفاعل يستهلك كل نان أكسيد الكربون ناتج الاختزال .

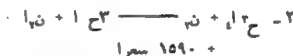
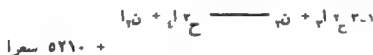
هذا هو السبب في أن أكسيد الحديد، بالإضافة إلى أي أكاسيد للحديد، يتم اختزالها حتى النهاية في المنطقة العلوية (المنطقة ٣). ويجمع التفاعلين المذكورين كالآتي:



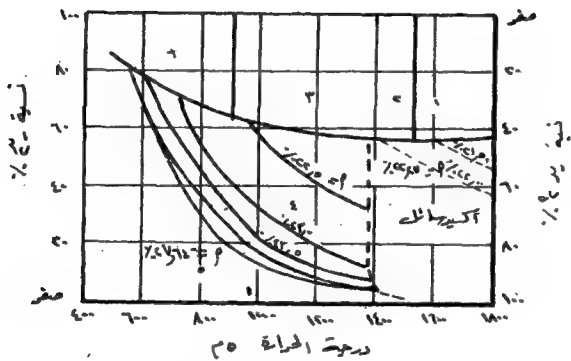
والاختزال المباشر يحدث بالأفران العالية، كما هو واضح آنفاً، غير أنه أقل أهمية من الاختزال غير المباشر (بالغاز). ذلك لأن الأول يتطلب تلامس جزئيات الكربون والأكسيد المطلوب اختزاله، بينما يتمكن الغاز من اختراق المسام والشقوق بسهولة أكثر بالإضافة إلى وجود الحفام محاطاً بالغاز المختزل، وبالتالي سهولة اختزاله من الأسطح. ويلاحظ في التفاعل المباشر، أن (ض ١) «الذي يعد ثابت التفاعل»، هو ضغط غاز أول أكسيد الكربون المستحدث، والذي لا يتوقف على الضغط الجزئي للغاز أول أكسيد الكربون الكلي في المجموعة، ولكنه مرتبط بالضغط الكلي للغاز بالمجموعة، وعليه وحيث أن (ض ١) يعتمد ضغط الغاز لدرجة حرارة معينة ثابتة، فإنه يتضح أن زيادة الضغط تقلل من سرعة هذا التفاعل. ولقد استُظلت هذه العلاقة في تحسين الاختزال غير المباشر بزيادة ضغط الغاز عند قة القرن العال الحديث.

4. اختزال أكسيد الحديد بالهيدروجين :

يحتل الهيدروجين أكاسيد الحديد، بنفس الترتيب المذكور في حالة الاختزال بأول أكسيد الكربون، بمعنى اختزال أكسيد الحديد إلى أكسيد الحديد المغناطيسي، وهذا إلى أكسيد الحديدوز، والأخير إلى حديد فوق درجة حرارة ٧٠٠°م. كما يلي:



وبين الشكل (٣١) ، نسبة الهيدروجين وبحار الماء (مجموعها ١٠٠٪) المناظرين



شكل رقم ٣١- اثنان المجموعة : حديد - أكسجين - هيدروجين

لاتزان التفاعلين (٢) ، (٣) عند درجات الحرارة المختلفة ، وتحت ضغط يعادل ١ كجم/سم^٢ والتفاعل رقم (١) يتم في اتجاه السهم عند توافر أقل نسبة من الهيدروجين في الغاز الخليط ، بحيث يكاد الخط المحدد لملاقة ائزان التفاعل ، ينطبق مع محور درجات الحرارة ، حيث نسبة بخار الماء تساوى ٩٠٠٪ تقريبا .

وينقسم الشكل إلى ثلاث مناطق أيضا ، تحدد مناطق ثبات أكاسيد الحديد المغناطيسى ، وأكسيد الحديدوز ، والمعدن ، على التوالى ، فى الاتجاه لأعلى الشكل .

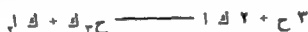
وفى مجال المقارنة بين الاختزال بأول أكسيد الكربون والهيدروجين ، نجد أن الاحتياجات الحرارية التى تلازم تفاعلات الاختزال بالهيدروجين ، أقل من تلك التى تلازم الاختزال بأول أكسيد الكربون ، وذلك مرجعه إلى اختلاف كمية حرارة التكوين لثاني أكسيد الكربون وبخار الماء ، حسب الآتى

$$\begin{array}{rcl} \text{نـ} \frac{1}{4} + \frac{1}{4} \text{ا} & \text{-----} & \text{نـ} \frac{1}{4} + \frac{1}{4} \text{ا} \\ ٥٧٨١٠ \text{ سعرا} & & ٦٧٦٥٠ \text{ سعرا} \\ \text{ك} \frac{1}{4} + \frac{1}{4} \text{ا} & \text{-----} & \text{ك} \frac{1}{4} + \frac{1}{4} \text{ا} \\ & & ٩٨٤٠ \text{ سعرا} \end{array}$$

وهذا الفارق ثابت فى أى تفاعلات لجزيء من الهيدروجين وجزيء من أول أكسيد الكربون .

كما يلاحظ أن مجال استخدام (ك أ) أكبر فى الميتالورجيا بسبب تكوينه وإمكانية إعادة تركيزه فى محيط جو التفاعلات عن طريق تفاعل بودوارد .

هذا بالإضافة إلى أن (ك أ) ليس عامل اختزال فقط ولكنه عامل كرينة للحديد الناتج ، حسب العلاقة التالية :



وهذا أمر ضرورى وحيوى فى حالة إنتاج الحديد الزهر .

كما يلاحظ أن الاختزال بالهيدروجين فى درجات الحرارة من ٨٢٠° م أفضل من الاختزال بغاز أول أكسيد الكربون ؛ ويعنى ذلك أن نسب الغاز المختزل (ك أ) إلى (ك ا) اللازمة للحصول على درجة معينة من الاختزال فى درجات الحرارة أقل من ٨٢٠ ، تكون أقل من نسبة (نـ) إلى (ن ا) اللازمة للوصول إلى نفس درجة الاختزال عليه . وتتقارب قدرة الاختزال لكل من الغازين ، بارتفاع درجة الحرارة حتى ٨٢٠° م حيث يتساويا . وعند هذه الدرجة يصبح ثابت التفاعل :

ك ١ + ن ١ ————— ك ١ + ن ١ ث ... ث ض ١ / ض ١
 ض ١ / ض ١
 مساويا للواحد الصحيح بمعنى أن :

ف = ١ ض ١ / ض ١
 ض ١ / ض ١
 ويسمى هذا التفاعل (تفاعل الماء والغاز).

من كل ماذكر، يتضح أن كل تفاعلات اختزال أكاسيد الحديد، يمكن أن تتم في درجات حرارة منخفضة عن درجة حرارة بدء انصهاره، وبالتالي يمكن أن يوجد الحديد في صورة بلورات من المعدن صغيرة في حالة صلابة موزعة في المسام داخل الحام، التي تولدت نتيجة سحب الأكسجين منه. ويأخذ الحديد الذي اختزل بهذه الصورة الشكل الإسفنجي. ويتلاصق سطح المعدن المتكون مع غاز أول أكسيد الكربون ومع ارتفاع درجة الحرارة، يتم التفاعل :

ح ٣ + ك ٢ ————— ح ٢ + ك ١ ثابت التفاعل
 ض ١ / ض ١

وينتج من التفاعل كربيد الحديد الذي يذوب بدوره في الحديد المختزل، فتتخفض بذلك درجة حرارة انصهاره، وبالتالي ينساب ذلك الحديد المختزل على هيئة قطرات من الحديد الزهر، ليتجمع في النهاية في بودقة الصهر. الحصول على حديد نقي :

يمكن اختزال أكاسيد المعدن في خاماته في حالة الصلابة عند درجات الحرارة المنخفضة نسبيا، ويكون الحديد الناتج في هذه الحالة نقيًا من الشوائب، كالكربون، أو السيليكون، أو المنجنيز. ومن المعروف أن حديد القاء، الثابت حتى درجة حرارة ٩٠٦ م، له قابلية تكاد تكون منعمة لإذابة الكربون. بمعنى أنه إذا ما تم تسخين الحام تدريجيا، وينظام محدد، في جو مختزل، ثم أوقف الاختزال بوصول درجة الحرارة إلى هذه الدرجة، فإنه يمكن بعد تكسير الحام المختزل، وإجراء عمليات فصل مابه من معدن (بالفصل المغناطيسي، أو باستغلال اختلاف الوزن النوعي أو، إلخ...) فإنه يمكن الحصول على حديد يكاد يكون نقيًا من الشوائب. وتعتبر هذه طريقة للحصول على الحديد النقي مباشرة. ويشترط فيها إتقانها في درجات حرارة دون درجة الانصهار.

٥ - تحلل الكربونات :

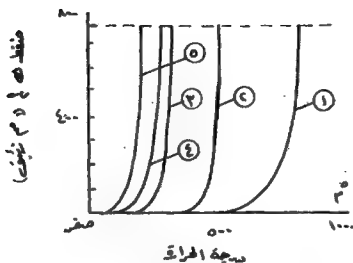
يتحد ثاني أكسيد الكربون مع أكاسيد المعادن مكونا كربوناتها، مثل السيدريت (كربونات الحديدوز (ح ك أ) أو كربونات الحديدوز، أو كربونات الرصاص «السيروزيت (رك أ)، إلخ... وتحلل هذه الكربونات بتسخينها إلى ثاني أكسيد الكربون وأكسيد المعن حسب الآتي :

ح ك أ بالتسخين ح ١ ك أ ثابت التفاعل حمض و ١١

ومعنى ذلك، إمكان الحصول على أكاسيد هذه المعادن بتسخين كربوناتها. وتسمى هذه العملية بالكلسنة، ثم معالجة الناتج بعد ذلك بالاختزال للحصول على المعن. ويلاحظ أن التفاعل في اتجاه السهم، تفاعل ماص للحرارة، أي زيادة سرعته في نفس الاتجاه مع زيادة درجة الحرارة؛ بمعنى أنه لو وجد السيدريت في مكان مغلق، ورفعت درجة الحرارة بالتسخين (بتيار كهربائي مثلا) فإنه يبدأ في التحلل عند درجة الحرارة التي يصبح فيها ضغط التحلل (ض ك أ^١) مماثلا للضغط الجزئي لغاز ثاني أكسيد الكربون في جو المكان أعلى الكربونات والأكسيد، ومع استمرار رفع درجة الحرارة، تزداد سرعة التحلل، حتى الوصول إلى حالة الاتزان.

وعليه فلو كانت الكربونات موجودة في مكان مفتوح، فإنه بارتفاع درجة الحرارة، يزداد ضغط التحلل (ض و ١١) ويزداد تبعا لذلك خروج غاز ثاني أكسيد الكربون الذي يندفع إلى الجو، بمعنى ابتعاد ناتج التفاعل عن محيط التفاعل، وبالتالي التأثير على اتزان المجموعة، بمعنى استمرار التفاعل في اتجاه السهم، ويبلغ التفاعل أقصاه، عندما يصل ضغط التحلل بارتفاع درجة الحرارة إلى ضغط جوى.

والشكل (٣٢) يوضح العلاقة بين درجة الحرارة وضغط التحلل لبعض الكربونات الهامة، والتي تلعب دورا في تفاعلات الأفران العالية، وهى كربونات الحديد (السيدريت ح ك أ)، وكربونات الكالسيوم (الحجر الجيري ك ك أ)، وكربونات المغنسيوم (مغ ك أ).



شكل ٣٢ - ضغط تحلل بعض الكربونات بدرجات الحرارة

وبلاحظ من الشكل ترتيب تحليلها كالآتي :

كربونات الحديد ، ثم كربونات المغنيسيوم ، ثم كربونات الكالسيوم . كما هو واضح من الجدول الثاني :-

..... كربونات الحديد كربونات الماغنسيوم كربونات الكالسيوم

٦٠٠	٤٠٠	٣٨٠	درجة حرارة بدء التحلل م
٨٨٣	٥١٠	—	درجة الحرارة التي يصل فيها إلى ضغط جوى

وهذا التفاعل يمكن حدوثه في الاتجاه المضاد ، وذلك بزيادة ضغط غاز ثاني أكسيد الكربون أعلى الأكسيد (يفرض أنها في مكان مغلق) .

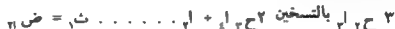
وتأتى أهمية هذه التفاعلات بالنسبة للأفران العالية ، ليس فقط من أنها تفاعلات ماصة للحرارة ، وبالتالي تؤثر على الميزان الحرارى للفرن ، وتقلل من بركة تجهيز الشحنة وإعدادها ، لكن ، لأنها تؤثر في قدرة غازات الأفران العالية الاختزالية ، فتقللها نتيجة إضافة ثاني أكسيد الكربون الناتج من التحلل .

هذا بالإضافة إلى أن خروج غاز ثاني أكسيد الكربون ناتج تحلل الكربونات ، يفلق المسام والفتحات أمام دخول غاز الأفران العالية ، وبالتالي في حالة السيدريت ، يؤخر من بدء اختزال الحامة إلى حد ما ولكن حيث أن تحلل السيدريت يتم في درجات حرارة منخفضة - تكون سرعة تفاعل الاختزال فيها محدودة وبطيئة - فإن تأثير خروج ثاني أكسيد الكربون ، يكاد يكون غير ذي خطورة ، على سرعة إتمام سلسلة تفاعلات الاختزال .

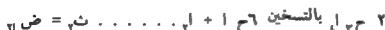
٦ - تحلل الأكاسيد العالية ، والهيدروكسيدات والكبريتيدات :

على غرار ماسبق ذكره ، تتحلل الأكاسيد العالية ، والهيدروكسيدات ، والكبريتات ، والكبريتات ، مع ارتفاع درجة الحرارة ، وزيادة ضغط تحلل كل منها ، ويتبع هذا التحلل تكون غازات عديدة مثل الأوكسيجين ، وبخار الماء . وثالث أكسيد الكبريت على التوالي . ونورد فيما يلي بعضاً من هذه التفاعلات ، على سبيل المثال وليس المحصر :

(أ) الأكاسيد العالية :



(أ) الأكاسيد العالية :



(ب) الهيدروكسيدات :



(ج) الكبريتات :



٧- طرق تغليص المعدن من الكبريت :

واستكنا للهدف من شرح بعض التفاعلات عن طريق ربطها بنظريات الكيمياء الطبيعية وقوانين الديناميكا الحرارية ، نرى لزما التعرض لبعض التفاعلات الهامة التي تحدث في صناعة الحديد والصلب عامة ، وفي الأفران العالية خاصة ، في شرح مبسط هادف ، وأهمها :-

١ - إزالة الكبريت : يمكن أن يتم التغليص جزئيا من الكبريت الموجود بالحديد الزهر ، بإحدى الطرق التالية :

١ - استخدام المنجنيز :

ويتم ذلك حسب التفاعل الآتي :

كبريتيد الحديدوز + منجنيز ————— كبريتيد المنجنيز + حديد

ح لب + م ————— م كب + ح

وحيث إن كبريتيد الحديد قابل للذوبان في الحديد ، يتضح أن هذا التفاعل يصل إلى حالة الاتزان قبل تغليص الحديد الزهر من كل الكبريت الموجود به . وبالتالي يمكن القول بأنه لا يمكن إزالة الكبريت من المعدن كلية ، عن طريق استخدام المنجنيز فقط . ولكن من المعروف أنه كلما ارتفعت درجة الحرارة ، كلما ارتفعت نسبة المنجنيز التي توجد في اتزان مع كمية معينة من الكبريت ، بمعنى أن النخلص من الكبريت باستخدام المنجنيز ، يتحسن مع انخفاض درجة الحرارة ، مما يدعو أحيانا إلى تخفيض سرعة القطار الذي ينقل الحديد الزهر - المحتوي على المنجنيز والكبريت - ما بين الأفران والصلب .

٢ - باستخدام الخبث : عند انسياب قطرات الحديد داخل الفرن ، واختراقها طبقة الخبث ، تم إزالة الكبريت من سطحها ، بواسطة جير الخبث حسب التفاعل :

أكسيد الكالسيوم + كبريتيد الحديد ————— كبريتيد الكالسيوم + أكسيد الحديدوز

كا + ح كب ————— كا كب + ح ا

ویدخل كبريتيد الجير الخبث بالانتشار ، أما أكسيد الحديدوز ، فيختزل بعدئذ بواسطة كربون الكوك اختزالاً مباشرًا كالآتي :

أكسيد حديدوز + كربون ————— حديد + أول أكسيد الكربون

ح ا + ك ————— ح + ك ا

وتختلف عن ذلك فقاعات غاز أول أكسيد الكربون على سطح القطرة ، مما يقلل من وزنها النوعي ، فتطفو داخل الخبث ثانية ، وهكذا تتكرر الدورة مع المزيد من إزالة الكبريت ويتم ذلك أيضا مع الماغنيسيا وأكسيد المنجنيز حسب الآتي :

كبريتيد الحديدوز + الماغنيسيا ——— أكسيد الحديدوز + كبريتيد الماغنسيوم



كبريتيد الحديدوز + أكسيد المنجنيز ——— أكسيد الحديدوز + كبريتيد المنجنيز

ينتج أن إجمالي الكبريت (ك ب) = [ك ب ح] + [ك ب م] + [ك ب ص] + [ك ب ي]

حيث (ك ب) - كمنال - تعني الكبريت المتحد بالمنجنيز في الخبث .

ومنه يتضح أن إزالة كبريت المعدن تتحسن كلما ازدادت نسبة توزيع الكبريت بين الخبث والحديد ، وهذه تتوقف كما وضع أنفا على :

(١) كمية الجير غير المرتبط والماغنيسيا في الخبث (٢) كمية المنجنيز في الحديد

٣ - انخفاض نسبة الأوكسجين في الخبث والحديد (٤) ارتفاع درجة الحرارة .

(٥) توافر جو مختزل .

وتراوح نسبة الكبريت التي يمكن التخلص منها ما بين ٥ إلى ٢٠٪ من الكمية المشحونة في حالة الخبث القاعدي ، بينما تصل حتى ١٪ فقط في حالة الخبث الحامضي ، ذلك لأن كبريتيد الكالسيوم وكبريتيد الحديد ، لها قابلية صغيرة للذوبان في الخبث الحامضي .

ولما كان وجود شوائب المعدن الأخرى كالسيلكون والكربون والفوسفور لها تأثيرها على مدى إمكانية التخلص من الكبريت ، بسبب تأثيرها على المؤشرات المذكورة ، فإنه قد أمكن استغلال ذلك في قياس درجة التخلص من الكبريت بالفرن العالي ، وذلك بمعرفة كمية السيليكون الذاتية في المعدن ، حيث أن :



حيث يكون ثابت التفاعل :

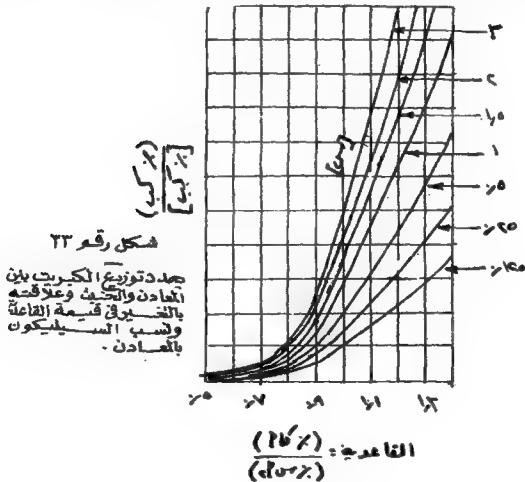
$$\frac{\text{كا كب}^2 (\text{س ا}) (\text{س ا})^2}{\text{ل كبا} (\text{كا ا}) (\text{س})}$$

وحيث أن $\frac{(\text{كا})}{(\text{س ا})}$ مقدار ثابت يمثل (قاعلية الخبث)

يتضح أنه يمكن كتابة المعادلة (١) كالآتي :

$$\text{ثابت} = \frac{(\text{كا كب}^2)}{[\text{س}]^2} = \frac{(\text{كب})}{[\text{س}] \cdot [\text{كب}]} = \frac{1}{[\text{س}] \cdot \text{ل كب}}$$

حيث ل ي درجة توزيع الكبريت بين الخبث والحديد ومنه يتضح إمكانية الحكم على مدى إزالة الكبريت بالفرن العالي ، بمعرفة نسبة السيليكون في الحديد الزهر ، والشكل (٣٣) يوضح هذه العلاقة .



٣- إزالة الكبريت خارج الفرن العالي :

يتم ذلك بإضافة الصودا الكاوية أو « كربونات الصوديوم » (ص ٢ ك أم) أو كبريد الكالسيوم (كا ك ٢) إلى المعدن في يوداق الصب ، أو خلال انسيابه في مجارى الحديد . ويتبع ذلك خروج غازات وأبخرة ضارة . ويمكن بإضافة هذه المواد بنسب مختلفة التخلص من ٤٠ إلى ٧٠٪ من الكبريت الأصلي الموجود بالمعدن . ويتم التفاعل كالتالي :

(أ) كربونات الصوديوم :

كربونات الصوديوم + كبريتيد الحديد + الكربون ————— كبريتيد الصوديوم + أكسيد الحديدوز

ص ٢ ك أم + [ح كب] + ك ————— (ص ٢ كب) + ح + ا + ك ا + أول أكسيد الكربون
(ب) كبريد الكالسيوم :

كبريد الكالسيوم + أكسيد الكالسيوم + كبريتيد الحديد ————— حديد + كبريتيد الكالسيوم
كا ك ٢ + كا ا + ٣ [ح كب] ————— ٣ [ح] + ٢ كا كب + ٢ كب ا + أول أكسيد الكربون

وليس للإضافات المذكورة ، تأثير على تحليل باقى مكونات الحديد الزهر ، ولكن تأثيرها اقتصاديا يتمثل فى زيادة تكاليف مرحلة إنتاج الحديد الزهر .

٨- علاقة نسبة كل من المنجنيز والسيليكون فى الحديد الزهر :

من العلاقات الهامة بالنسبة لتفاعلات الأفران العالية ، تلك العلاقة ما بين عنصرى المنجنيز والسيليكون ، والتي يمكن إيضاها حسب مايلى :

١- يحتزل كربون الكوك فى درجات الحرارة العالية جزءا من سيليكيا المنجنيز وكما يلى :



٢- كما يحتزل كربون الكوك جزءا من أكسيد المنجنيز الموجود فى الحث حسب التفاعل الآتى :



ويطرح (٢) من (١) ينتج :



حيث ثابت التفاعل :

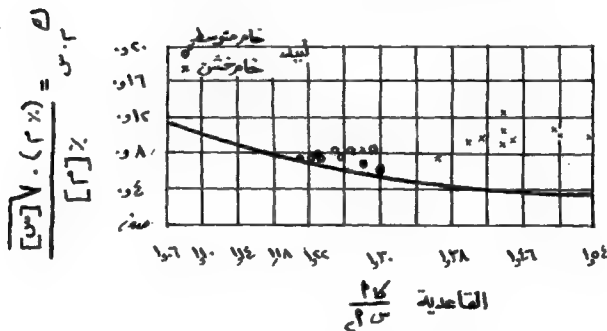
حيث أن (م أ) = ثابت

والشكل (٣٤) بين العلاقة بين الثابت المذكور وقاعدية المثبت، ومنه يتضح أنه بتعليل أى من السيليكون أو المتجنيز، يمكن معرفة نسبة الآخر بالمعدن.

التفاعلات الكمائية بالقرن العالي :

بعد هذا الاستعراض السريع المبسط للأسس والقوانين التي تحكم أهم التفاعلات التي تتم بالأفران العالية، وحق يمكن الإلمام بما يحدث داخل الفرن، ولزيادة الايضاح، رؤى تقسيم هذه التفاعلات إلى مايلي:

- ١- التفاعلات والتغيرات التي تعترى عمود الشحنات الهابطة.
- ٢- التفاعلات والتغيرات التي تعترى عمود الغازات الصاعدة.



شكل رقم ٣٤ - يحدد العلاقة بين قيمة الثابت k وقاعدية الخبز

١- التفاعلات والتغيرات التي تعترى عامود الشحنات الهابطة :

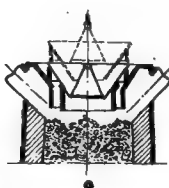
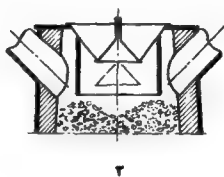
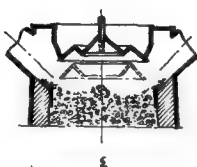
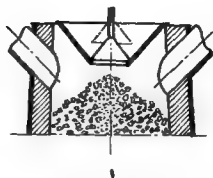
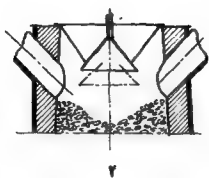
تشحن عادة مكونات شحنة الأفران العالية من الحام والإضافات ومساعد الصهر مع بعضها بعضا ، كوحدة مجتمعة ، بينما يشحن الكوك اللازم لها كوحدة منفصلة عنها . ويجرى ذلك في شحنات متعاقبة ، وحسب نظام الشحن المحدد للتشغيل ، لتكتسب المشحونات شكل طبقات متجانسة منفصلة إلى حد ما ، في أعلى القرن التيكال (٣٥) . وباستمرار الهبوط والتعرض لدرجات الحرارة المتزايدة ، تتأزج هذه الطبقات وتختلط مكوناتها بعضها مع بعض ، ويزداد هذا الاختلاط والتأزج ، كلما هبطت الشحنات إلى مستوى أقل .

وقر المشحونات في هبوطها بمناطق القرن المختلفة ، فتتعرض للظروف التي تتميز كل منها بها . ولسهولة تفهم ماحدث بداخل القرن من تفاعلات ، سنسردها فيما يلي بالتفصيل ، موزعة على مناطق القرن المتتالية ، ويجب ملاحظة أننا نتعرض لهذه التفاعلات من الناحية النظرية البحتة ، دون الأخذ في الحسبان ، التأثير الذي يحدث نتيجة المؤثرات الأخرى مثل طبيعة المشحونات ، أو التوزيع الحجمي لمكوناتها ، أو شكل القرن وحجمه ، أو درجة حرارة الهواء اللافخ ، الخ ..

وفي الحقيقة ، لايمكن القول بأن هذا التفاعل أو ذلك ، يتم على ارتفاع معين من فتحات نفخ الهواء بالفرن ، ذلك لأن الظروف الطبيعية والكيميائية ، التي تلعب دورا هاما في برعة وكيفية ونتائج هذه التفاعلات ، تتغير داخل القرن الواحد من لحظة لأخرى . كما أنها بدنيا تختلف من فرن لآخر . ولكن ، ونجاوزا عما جاء آنفا وللإيضاح ، يمكن تقسيم هذه التفاعلات على مناطق القرن المختلفة كما يلي :

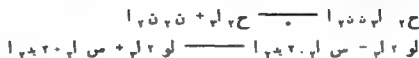
(١) التفاعلات التي تتم في الجزء العلوى من الظروف العلوى :

تتعرض المشحونات في هذه المنطقة لأمود الغازات الصاعدة الساخن ، فترتفع درجة حرارتها تدريجياً حتى ٤٠٠ إلى ٤٥٠ م° ، ونتيجة لذلك ، تتطاير الرطوبة التي يحتويها الكوك والخامات المشحونة ، والتي يتم التخلص منها نهائياً عند رفع درجة حرارة هذه المشحونات إلى ٢٠٠ م° . ولما كانت بعض خامات الحديد والإضافات قد تحتوى الماء في صورة مركب كيميائي متحد بها ، فإن التخلص منه يقتضى رفع درجة حرارة هذه الخامات إلى أعلى من هذه القيمة (تقريباً ٣٥٠ م°) ، حتى يصل ضغط التحلل لبخار الماء إلى ضغط الغازات



شكل (٣٥)
طريق الشحن المختلفة وأثرها
على شكل سطح الشحنة

والمحيطه ، ويعنى ذلك أن خروج الماء المتحد كيميائيا بالحمات يتم في هذه المنطقه من القرن ، ومثال ذلك :



وهنا يجب ذكر أن درجة الحرارة المقصودة ، هي درجة حرارة مركز قطعة الختام ، وليس درجة حرارة أسطحها الخارجية .

(ب) التفاعلات يباقي المخروط العلوي والأسطوانة:

في هذه المنطقة ترتفع درجة الحرارة تدريجاً من ٤٠٠°م الى ١٠٠٠°م، وفي الجزء العلوى منها عند درجة حرارة ٤٠٠ الى ٥٥٠°م، يبدأ اختزال أكاسيد الحديد بفاز أول أكسيد الكربون، وينتج تبعاً لذلك الحديد النقي، في صورة إسفنجية مختلطاً بشوائب الحام.

في درجة حرارة ٦٠٠ م يبدأ خروج المواد المتطايرة الموجودة بالكوك تدريجياً في صورة غازية، ويتم التخلص منها نهائياً عند درجة حرارة ٨٠٠ م ويلاحظ، نتيجة لذلك، أنه في خلال هبوط الكوك والمشحونات داخل الفرن، تكون درجة حرارة سطح الكوك دائماً أقل من درجة حرارة أسطح الخامات المجاورة، ذلك أن الكوك يتعرض لتفاعلات ماصة للحرارة بينما تتعرض الخامات لتفاعلات طاردة نسبياً للحرارة.

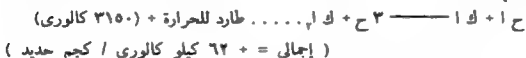
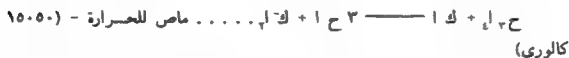
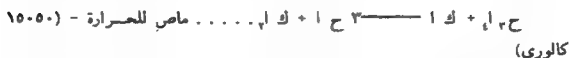
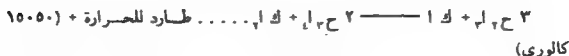
وعند درجة حرارة ٤٥٠°م يبدأ تحلل كربونات الحديد والمنجنيز، ويعقبها عند درجة ٦٠٠ إلى ٧٠٠ م بدء تحلل الحجر الجيري (كربونات الكالسيوم ك أ ب)، والدولوميت (ك أ ا. مع ا. (ك أ ب))،

حسب الآتي :-

وحسب حجم قطع الخام أو الدولوميت أو الحجر الجيري المستخدم، يستمر هذا التلحل، ويتبخر عند درجة حرارة ١٠٠٠° م نهائياً.

وخلال التدرج الحرارى الكبير من ٤٥٠ إلى ١٠٠٠ م فى هذه المنطقة، تزايد نسبة غاز أول أكسيد الكربون، ويتحلل غاز ثانى أكسيد الكربون حسب قانون بودوارد، وبالتالي تتناقص نسبته فى الغاز المحيط بمعنى زيادة القدرة الاختزالية للغازات. وبالتلاحم بين غاز أول أكسيد الكربون وخام الحديد، وبالتالي أكاسيد الحديد، يبدأ اختزالها اختزالاً غير مباشر، من أكسيد حديدك، إلى أكسيد الحديد المغناطيسى، ثم إلى أكسيد الحديدوز، ونسبياً إلى حديد حيث يتساق الجزء الباقى من أكسيد الحديدوز دون اختزال، إلى مناطق

الفرن السفلى والأعلى حرارة . وتم هذه السلسلة من التفاعلات حسب المعادلات الآتية :



ومنه يتضح أن اختزال أكسيد الحديدوز اختزالاً غير مباشر، يضيف حرارة إلى الفرن، بمعنى تخفيض استهلاك الكوك الذى يعد فى غاية الأهمية لاقتصاديات تشغيل الأفران العالية. وعليه أصبح من واجبات العاملين بالأفران العالية، زيادة كمية أكسيد الحديدوز التى تحتل اختزالاً غير مباشر، رغم مايقابل ذلك من انخفاض القيمة الحرارية لغاز الأفران العالية المنتج.

وتتراوح نسبة الاختزال غير المباشر - لأكاسيد المعادن الخام - بالأفران العالية ما بين ٤٠ و ٧٠%، وتتوقف إلى حد بعيد على خواص الخام المستخدم ومدى اختزاله، وكذا على ظروف تشغيل الفرن.

وابتداء من درجة حرارة ٥٠٠° م يشارك الهيدروجين الموجود فى الغازات، فى اختزال أكاسيد الحديد، بنفس الترتيب السابق.

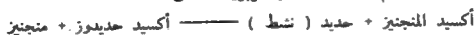
ويكون الحديد الذى تم اختزاله فى بدء المرحلة، فى حالته الصلبة نقياً من الشوائب، ومع استمرار هبوطه بالفرن، يصل إلى درجة حرارة أعلى، حيث ينصهر.

هذا فيما يختص بأكاسيد الحديد المشحونة. أما الأكاسيد الأخرى كأكسيد الكالسيوم، وأكسيد المغنسيوم، وأكسيد السيليكون، وأكسيد الألومنيوم، وأكاسيد المنجنيز، والكبريت ومركباته، فخلال هبوطها بالفرن، ترتفع درجة حرارتها، وتتمتع ثم تنصهر، وتتجمع فى الأسطوانة إذ أن اختزالها يحتاج إلى حرارة كبيرة غير متوافرة فى المناطق العليا من الفرن، بالإضافة إلى أن ضغوط تحللها صغيرة. وبالتالي فنسب غاز أول أكسيد الكربون المطلوبة لإتمام الاختزال، أكبر بكثير من النسبة الموجودة بهذه المنطقة من الفرن.

غير أنه يمكن اختزال الأكاسيد العالية، فنلا يمكن اختزال أكاسيد المنجنيز العالية حسب التفاعل الآتي :



ولكن لا يمكن اختزال (م)، الذي يختزل بعدئذ في المناطق التالية الأكثر حرارة، وبالحديد الذي تم اختزاله، أو بالكربون، كالآتي :



أما خامس أكسيد الفوسفور الموجود في فوسفات الكالسيوم [(3أ) فو ١هـ]، أو، (كا ١) فو ٢هـ]، فيتم اختزاله بغاز أول أكسيد الكربون بعد اتحاد جبر الفوسفات بسيليكا الخامات، وتحرر خامس أكسيد الفوسفور (فو ١هـ) وذلك على النحو التالي :



الكربون



وحيث أن ثاني أكسيد الكربون غير ثابت في مثل درجة الحرارة هذه الدرجة، وفي وجود الكوك المتوهج، فإنه يتحول إلى أول أكسيد الكربون، ليزيد من القوة الاختزالية للغازات.



ونظراً لانخفاض قاعدية خبث الاقراص العالية نسبياً، والجو المختزل بالمنطقة، فإن الفوسفور الناتج كله، يتحد بالمعدن، ولايحوى الخبث شيئاً منه مطلقاً.

(ج) التفاعلات في منطقة المخروط السفلي :

في هذه المنطقة من الفرن، والمرتفعة الحرارة، ونظراً للتغير الذي تم في خواص الشحنة الفيزيكية والكيميائية، فإن الحديد الثق السابق تكوينه بالمناطق العليا بالفرن، بامتصاصه

للقليل من الكربون تنخفض درجة انصهاره نتيجة انخفاض درجة نقائه ، ويبدأ في السيولة . وكذا غالبية المشحونات الأخرى (خلافاً للكوك والجر) ، وعليه يتهيأ المحيط بالمنطقة لتفاعلات من نوع آخر بين مواد صلبة وأخرى سائلة ، بمعنى أن عمل الغازات ، لم يعد المؤثر الفعال المسيطر ، ومن ثم تختزل السيليكا بأكاسيد الحديد والمنجنيز حسب المعادلات :



وثابت الاتزان للتفاعل الأول ، أقل بكثير من ثابت اتزان التفاعل الثاني ، ولذا كان المنجنيز يختزل أقوى للسيليكا من الحديد . وهذا التفاعل ماص للحرارة ، ولذا فإنتاج سبائك الفيرو سيليكون ، تزداد نسبة المنجنيز في شحنة الأفران الأصلية مع زيادة درجة الحرارة بودة الصهر بالفرن . كما يتضح مما تقدم ، أنه كلما زادت نسبة السيليكون في الحديد الزهر كلما انخفضت نسبة المنجنيز فيه .

ووجود الفحم في هذه المنطقة متوهجا ، ويتلاسه مع الشحنة المنصهرة نسيبا والمهابة من الاسطوانة ، يبدأ في اختزال ما تحويه هذه من أكسيد الحديدوز الذي لم ينته اختزاله من قبل . وكذا في اختزال بعض الأكاسيد المرافقة والصعبة الاختزال ومع زيادة درجة الحرارة ، يزداد هذا النوع من الاختزال والذي يسمى اختزالا مباشرا . ذلك لأن التفاعلات للاختزال المباشر ، تفاعلات ماصة للحرارة ، بمعنى زيادة شدتها وسرعتها مع ارتفاع درجة الحرارة . وتتم هذه التفاعلات جميعها في درجات الحرارة ما بين ١٠٠٠ إلى ١٧٠٠ م° وأهم هذه التفاعلات هي :



ومن أهم هذه التفاعلات التي تتم عامة بالفرن العالي ، تفاعل كربنة المعدن والذي يتم بهذه المنطقة من الفرن ، حيث يتفاعل الحديد النقي تقريبا الذي تم اختزاله في طبقات الفرن التي تملو هذه المنطقة ، مع غاز أول أكسيد الكربون ، ومع كربون الكوك المتوهج ، ليذيب ٣ ك ب) حسب التفاعل :

٣ حديد نقي + أول أكسيد الكربون ——— كريد حديد + ثاني أكسيد الكربون

٣ ح + ٢ ك ١ ——— ح ٢ ك + ١ ك ١

٣ حديد نقي + كربون ——— كريد حديد

٣ ح + ك ——— ح ٢ ك

وبهذا تنخفض درجة الحرارة التي يبدأ عندها انصهار الحديد من ١٥٢٨° م. وهو نقي حتى ١٢٠٠° إلى ١٣٠٠° م.

وفي خلال نزول قطرات الكريد، فإنها تذيب السيليكون، والمنجنيز، والفوسفور، والكبريت التي تم الحصول عليها من الاختزال المباشر لأكاسيدها - كما ذكر من قبل - فيتحول الحديد الكربوني إلى حديد زهر، له درجة انصهار أقل، وبالتالي تنساب قطرات الحديد الزهر السائل، من أعلى مستوى فتحات نفخ الهواء إلى بودقة الصهر. وبما ذكر آنفاً، يتضح أن كربون الكوك المضاف بالشحنة، يؤدي بالفرن العالي لثلاث وظائف رئيسية:

١ - توليد الطاقة الحرارية اللازمة للتفاعلات عن طريق احتراقه بأكسجين الهواء اللاصق.

٢ - كريمة الحديد النقي، وبالتالي خفض درجة حرارة انصهاره، وإتاحة الفرصة لإسالة.

٣ - اختزال الأكاسيد مباشرة، وتوليد أول أكسيد الكربون اللازم للاختزال غير المباشر.

تكون الخبث في الأفران العالية:

تنساب باقى مكونات شوائب الخامات المشحونة، التي تتكون في العادة من أكاسيد هذه الشوائب، والتي تتمتع بشراهة كبيرة للارتباط بالأوكسجين، بحيث تحتاج إلى طاقة حرارية عالية لاختزالها، (يحتاج الحصول على ١ كجم من السيليكون باختزال السيليكا إلى ٧٤٣٢ كيلو كالورى)، لا تتوفر تحت ظروف تشغيل الأفران العالية. ولكن ولحسن الحظ، تتفاعل هذه الشوائب مع بعضها بعضاً في حالة الصلابة أو اللزوجة، مكونة مركبات كيميائية جديدة، لها درجة انصهار أقل بكثير من درجة انصهار مكوناتها الأصلية. ويبدأ هذا التفاعل في درجة حرارة ١٢٠٠° م تقريباً، أى بمنطقة المخروط السفلى، ومع تعرض الناتج لدرجات الحرارة الأعلى، ينصهر ويولد ما يسمى بالخبث. وهذه الأكاسيد

توجد في المشحونات كما يلي :-

في الحقام : السيليكا ، والألومينا ، والمغنيسيا ، والجير ، وأكسيد التيتانيوم ، وكبريتيد وأكاسيد المنجنيز ، وأكسيد الزنك وأكسيد الرصاص .
وفي الإضافات : أكسيد الكالسيوم ، وأكسيد المغنيسيوم ، وخامس أكسيد الفوسفور ، والسيليكا .

ومن الكوك : رماد الكوك (الذى يحوى ٤٠٪ منه على هيئة سيليكا) ، والكبريت .
وأهم المركبات الكيميائية التى تتكون من ارتباط هذه الأكاسيد هي :

- ١ - السيليكات : التى تتكون من ارتباط السيليكا بالأكاسيد الأخرى مثل :
سيليكات الجير (كا ١ س ١) (كا ١ س ١) ، وسيليكات الحديد (ح ١ س ١) ، وسيليكات الألمنيوم (لو ٢ س ١ . س ١)
٢ - الألومينات : وهى عبارة عن ارتباط الألومينا بغيرها من الأكاسيد مثل :
ألومينات الكالسيوم (كا ١ . مغ ١) أو ألومينات المغنيسيوم (مغ ١ . نق ٢ س ١)
٣ - مجموعات الفيرت :

تتكون من ارتباط أكاسيد الحديد بأكاسيد قاعدية ، مثل فيريت الكالسيوم ،
(ح ٢ س ١ . كا ١) أو من أكسيد الحديدوز مع أكسيد السيليكون كالفيايت (ح ١ س ١)
(١)

ويلاحظ أن درجات حرارة انصهار الأكاسيد التى تم ذكرها من قبل عالية جداً ، كما يظهر ذلك فيما يلي :

الأكسيد	درجة انصهاره
سيليكا (س ١)	١٧١٠°م
الجير (كا ١)	٢٦٧٠°م
الألومينا (لو ٢ س ١)	٢٠٥٠°م
مغنيسيا (مغ ١)	٢٨٠٠°م

ولكنها في حالة ارتباطها نتيجة تفاعلها تفاعلاً كيميائياً وتحولها إلى سيليكات أو ألومينات ، تكون درجة انصهار هذه الفتحات منخفضة جداً عن تلك التى للأكاسيد الأصلية ، وتتراوح درجات انصهارها عادة ما بين ١٢٠٠° و ١٤٠٠° م . وعليه تحسب مكونات الحث الأساسية في شحنة الفرن الأصلية ، بحيث يكن الجير والسيليكا لتكون

خبت محدد التركيب ، يمكن الحصول عليه سائلا تحت ظروف تشغيل الأفران العالية ودرجات الحرارة التي يمكن الوصول إليها . مع زيادة طفيفة في الشق القاعدي ، للتخلص من قدر من الكبريت .

و نورد فيما يلي بعض هذه المركبات الكيميائية ودرجة انصهارها :
(١) مجموعة السيليكا - الجير :

نسبة السيليكا في المركب

أقل درجة انصهار لمركباتها ١٤٣٦°م ٦٥%

أعلى درجة انصهار لمركباتها ١٥٤٤°م ٤٠%

(ب) السيليكا - أكسيد الحديدوز :

أقل درجة انصهار لمركباتها ١١٧٠°م ٤٠%

أعلى درجة انصهار لمركباتها ١٢٠٥°م ٢٠%

(ج) السيليكا - الألومينا :

نسبة الألومينا في المركب

أقل درجة حرارة انصهار لمركباتها ١٥٤٠°م ٨٧%

(د) الألومينا - الجير :

نسبة الألومينا

أقل درجة حرارة انصهار لمركباتها ١٣٩٥°م ٥٥%

أعلى درجة حرارة انصهار لمركباتها ١٤٥٨°م ٤٥%

وفي العادة ، ينضم إلى هذه المجموعات الثنائية أكسيد آخر ، فتنتج مجموعة ثلاثية التكوين ، وبسبب ذلك انغفاضا آخر لدرجة حرارة الانصهار ، بمقدار يتراوح ما بين ٢٣٠°م و ٣٠٠°م .

وخبت الأفران العالية عادة من المجموعة الثلاثية ، فنلا نجد سيليكات الكالسيوم والألومنيوم ، والتي تنخفض درجة حرارة انصهارها بمقدار ما تحتويه من شوائب أخرى .

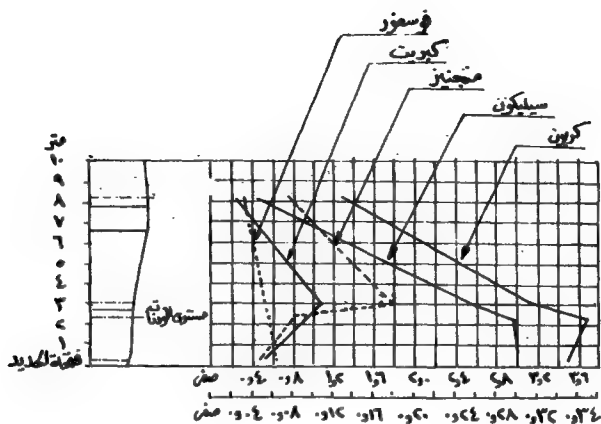
[كا ١ . لو ٢ . م . (٢ س ١)] [٢ (كا ١) . (لو ٢ . م . (س ١)) . . .] وهكذا والتي تنخفض درجة حرارة انصهارها بمقدار ما تحتويه من شوائب أخرى كأكسيد الماغنيسيوم ،

أو أكسيد الحديدوز أو أكاسيد المعادن الأخرى التي لم تختزل ، وقد تصل إلى ١١٦٥° م .
والخبث الذي تم تكوينه في الأسطوانة ثم المخروط ، يسمى «الخبث المبدئي أو الأدنى» ،
ويحوى نسباً كبيرة من أكسيد الحديدوز ، وأكسيد المنجنيز ، حيث أن اختزال الأول لم يكن
قد انتهى بعد ، وأن اختزال الثاني إنما يتم في بودقة الصهر . وقد يكونان على هيئة سيليكات
أو أحجاراً دون ارتباط .

وباستمرار هبوط هذا الخبث المبدئي في مستوى تحت مستوى فتحات ، نفخ الهواء ،
يضم اليه رماد الكوك . ويجمع كذلك الكبريت وباقي الجير من الشحنة ويفقد قليلاً من
أكاسيد الحديد والمنجنيز ، ليعطى «الخبث النهائي» . وهو الخبث الذي نحصل عليه مع فتح
فتحة الخبث أو مع صبات الحديد . وتكون السيليكا والجير والمغنيسيوم والألومينا حوالى
٩٤% من إجمالى وزنه ، بينما الباقي يمثل نسبياً من أكسيد الحديدوز ، وكبريتيد الكالسيوم
والمغنيسيوم وأكسيد المنجنيز وأثراً لحامس أكسيد الفوسفور . وحسب ما يحويه هذا الخبث
من مكونات قاعدية ومكونات حامضية ، يكتسب خاصية تسميته «الخبث القاعدى أو
الحامضى» . ويمتاز الجليخ الحامضى بمدى حرارى واسع ، يكون فيه الخبث سائلاً ، بينما يضيق
هذا المدى الحرارى بالنسبة للخبث القاعدى ، الذى يحتاج إلى درجة حرارة أعلى
للاحتفاظ به سائلاً .

(د) التفاعلات في بودقة الصهر :

تبلغ درجة الحرارة في المنطقة أمام فتحات نفخ الهواء أعلى درجة حرارة بالفرن العالى
(١٨٠٠° إلى ٢٠٠٠° م) ، ويتساقط الحديد والخبث السائلان في المنطقة ، والذى ترتفع
درجة حرارتها ليتجمعا في بودقة الصهر ، حيث يعلو الخبث الحديد ، نظراً لانخفاض وزنه
النوعى وتأكسد بعض المعدن أمام الودنات من أوكسجين الهواء اللافح ، ولكنه يختزل بعد
ذلك بكاربون المعدن عن طريق الانتشار . ويلاحظ أن نسب المنجنيز والكبريت في المعدن ،
تزداد خلال هبوطه من الأسطوانة إلى المخروط السفلى ، وحتى مستوى فتحات نفخ الهواء ،
حيث تبدأ بعد ذلك في الانخفاض ، الشكل (٣٦) ، أما السيليكون فتتوقف نسبته في
المعدن عند حد نسبته فيه عند مستوى الودنات ، أما الفوسفور فيستمر في الزيادة ، بينما أن
الكربون ترتفع نسبته بالتدرج ، مع الهبوط من الأسطوانة إلى المخروط السفلى ، ثم ارتفاعاً
مباشراً أمام الودنات ليعود فينخفض نسبياً . وعليه يوجد الحديد حاوياً شوائب من
السيليكون والكبريت والفوسفور والمنجنيز والكربون ، ذائبة أو مختلطة به ، مكونا الحديد



النسبة المئوية للكربون والفوسفور والمغنيزيوم والسيليكون
النسبة المئوية للبوتاسيوم

شكل رقم ٣٦ يحدد تحليل الحديد النهر عند المستويات المختلفة
أعلى المستويات وسفوحها الحديد

الزهر، بينما يحوى الحثيث كل الباقي الصلب من الشحنة الأصلية .
عائد الحديد الزهر وعائد الحثيث :

والمقصود بعائد الحديد الزهر إجمالى كميات الحديد والمنجنيز والسيليكون والكربون والفوسفور والكبريت والزنك والقصدير، الخ . الموجودة بالمعدن الناتج بالنسبة إلى مجموعها فى الخامات المشحونة .

أما عائد الحثيث، فيمثل الفرق بين المشحونات الداخلة للفرن عامة، وتلك المواد الداخلة فى تركيب الحديد الزهر وغاز الأفران العالية المنتجة .

ونستعرض فيما يلى عائد كل عنصر، وهو يمثل مقدار مايمحويه المعدن المنتج بالأفران العالية، ومايمحويه الحثيث من هذا العنصر :

١ - الحديد : يبلغ عائد الحديد تقريباً من ٩٥ إلى ١٠٠٪ ويرجع ذلك الى الجو المختزل الذى تتم فيه عمليات الأفران .

٢ - المنجنيز : يتراوح عائدته بين ٥٠٪ إلى ٧٠٪ بالحديد الزهر، والباقي يخرج مع الحثيث على هيئة أكسيد المنجنيز أو مركبات المنجنيز والكبريت . ويتوقف هذا القدر على قاعدية الحثيث ودرجة الحرارة فيزداد كلما انخفضت درجة الحرارة وانخفضت القاعدية .

٣ - الفوسفور : يحوى المعدن تقريباً ٩٥٪ من كمية الفوسفور المشحون بالفرن، ويخرج الباقي على هيئة مركبات كيميائية مع الكالسيوم والسيليكا فى الحثيث .

٤ - السيليكون : من ٢ إلى ٣٪ تتحد بالمعدن، بينما يخرج الباقي مع الحثيث . وتعتمد الكمية الداخلة فى المعدن على كمية السيليكا فى الشحنة الأصلية وقاعدية الحثيث، ودرجة حرارة بودقة الصهر، حيث تزيد مع انخفاض قاعدية الحثيث، وارتفاع درجة حرارة البودقة .

٥ - الكبريت : يوجد جزء منه بالمعدن، والجزء الآخر بالحثيث، ويتطاير جزء منه مع غازات الأفران العالية . ويتوقف الجزء الذى يوجد بالمعدن على قاعدية الحثيث، ودرجة حرارة بودقة الصهر ونسبة الماغنيسيا فى الحثيث . فيقل كلما زادت مقادير هذه الدلالات . ويمكن الحصول على معدن يحوى أقل من ١٠٪ من كمية الكبريت الداخلى مع المشحونات .

٦ - النحاس والنيكل والزنك : تذوب بأكملها فى المعدن .

٧ - الرصاص : يدخل المعدن ، غير أنه لا يذوب فيه ، ويتجمع في أسفله لثقله . ويسبب أضراراً كبيرة للطوب الحراري ويمكن جمعه خلال نقوب في الطوب (تم ذلك في بلدان أوروبا) وقد يتأكسد جزء بسيط منه إلى (ر ٢١) ويخرج مع أتربة الغازات .

٨ - الفاناديوم : من ٧٠ إلى ٨٥٪ يدخل المعدن ، والباقي يخرج مع الخبث .

٩ - الكروم : ١٠٠٪ يدخل المعدن على هيئة كريد الكروم -

١٠ - تيتانيوم : من صفر إلى ١٠٪ بالمعدن ، وأثر وجوده بالخبث سء .

١١ - الحارصين : من ٧٠ إلى ٩٥٪ بالمعدن .

١٢ - الكربون : يذوب الكربون في معدن الحديد ، وحتى نسبة ٧٪ بالوزن ، وتساعد بعض الشوائب الموجودة مع المعدن كالمنجنيز والكروم ، علم إذابة كربون الكوك ، بينما تقف بعض العناصر الأخرى ضد ذلك مثل الفوسفور والسيليكون . ويوجد الكربون بالمعدن على هيئة كريد الحديد ، وأحياناً بنسب أقل على هيئة جرافيت دقيق .

وتتأثر خواص الحديد المنتج عامة ، ودرجة حرارة انصهاره خاصة تبعاً لنوعية الشوائب الموجودة معه ، ونسبتها فنلاً :

كل ١٪ كربون ذائب في المعدن ، يخفض درجة انصهار المعدن . . .	٧٠° م
كل ١٪ فوسفور ذائب في المعدن ، يخفض درجة انصهار المعدن . . .	٣٠° م
كل ١٪ كبريت ذائب في المعدن ، يخفض درجة انصهار المعدن . . .	٢٥° م
كل ١٪ سيليكون ذائب في المعدن ، يخفض درجة انصهار المعدن . . .	٨° م
كل ١٪ منجنيز ذائب في المعدن ، يخفض درجة انصهار المعدن . . .	٥° م

٢ - التفاعلات والتغيرات التي تلازم عامود الغازات الصاعدة :

يدخل الهواء اللافع ، (٢١٪ أوكسجين ، ٧٩٪ نتروجين) ، الفرن خلال فتحات الهواء (الودنات) في درجة حرارة تتراوح ما بين ٧٠٠ إلى ٩٠٠° م ، (حالياً وصلت حتى ١٢٠٠° م في اليابان والاتحاد السوفيتي) ، ليجد أمامه في المنطقة العليا لبوذة الصهر كوكاً متوهجاً . فيحترق كربون الكوك مباشرة بأوكسجين هذا الهواء اللافع . وحيث أن الأوكسجين يوجد عند المدخل بكميات كبيرة ، فيتم احتراق الكربون احتراقاً كاملاً حسب المعادلة :

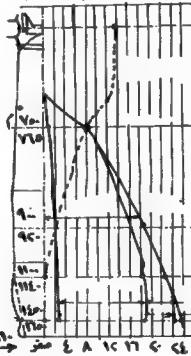
كربون + أوكسجين — غاز ثاني أكسيد الكربون

ك + ١ — ك ١

مولداً لطاقة حرارية كبيرة . ترفع درجة حرارة المنطقة حتى ١٧٠٠ م إلى ٢٠٠٠ م . وتسمى المنطقة أمام فتحات الهواء والتي يحدث فيها ذلك « منطقة الاحتراق » . وتأخذ شكل مجسم القطاع الناقص . ويمتد حتى مسافة كبيرة إلى داخل الفرن ، تتوقف على قطر ودنات نفخ الهواء (الشكل ٢٧) . وضغط هواء النفخ . ودرجة حرارته . وعوامل أخرى تذكرها فيما بعد .

وحيث أن ثاني أكسيد الكربون - حسب قانون بودوارد ، غير ثابت في درجات الحرارة العالية وفي وجود الكربون المتوهج ، فإن الغاز الناتج يتفاعل مع كربون الكوك ، مولداً حجمين من غاز أول أكسيد الكربون ، مقابل كل حجم من غاز ثاني أكسيد الكربون . حسب العلاقة التالية :

٢٨ ٢٤ ٢٠ ١٦ ٨ ٤ مفرج - جم أكسجين مختزل / كجم من الحديد الزهر



نسبة ك في الغاز الجاف

مستوى أوكسيد الحديدوز

الاختزال الغير مباشر

الاختزال المباشر

الأكسجين المختزل بفاز ك ١

الأكسجين المختزل مباشرة

الأكسجين المختزل بأكاسيد
المعادن الثانوية

الأكسجين المختزل بالهيدروجين

١٨١٠ النسبة المئوية لثاني أكسيد ك ١

شكل رقم ٢٧ - يحدد بعض العلاقات المتعاضدة بعملية الاختزال
« عن فيروج »

حجم من غاز ثنائي أكسيد الكربون + كربون ——— حجمين من أول أكسيد الكربون
ك ١ + ك ٢ ——— ك ١ ك ٢ (ماص للحرارة)
ويتم التفاعل السابقين سريعا ، وفي حدود جزء من الثانية .
كما يتم في نفس الوقت تحلل بخار الماء الداخل مع الهواء اللاحق بلامسته للكربون
المتوهج حسب مايل :

بخار الماء + الكربون ——— غاز هيدروجين + غاز أول أكسيد الكربون
ن ١ + ن ٢ ——— ن ١ ك ١ (ماص للحرارة)

ويساعد ارتفاع درجة حرارة المنطقة في توفير الطاقة الحرارية اللازمة لهذا التفاعل
عليه يتولد أمام الودانات خليط من غازات مختلفة يسمى « غاز الودانات » - تحطبه
كالاتي :

(معتمداً على نسبة بخار الماء الموجود بالهواء اللاحق) .

أول أكسيد الكربون ٢٥ إلى ٤٠ %

هيدروجين ٢ %

نتروجين ٥٨ إلى ٦٣ %

ويتساعد هذا الغاز داخل الفرن ، ليقابل في درجات الحرارة العالية عمود الشحنات
الهابط ، وليحيط بقطع الحام ، ويعطيها جزءاً من الحرارة الكامنة به ، ويتخلل مساهمها ليتحد
أول أكسيد الكربون والهيدروجين بأوكسيجين أكاسيد المعدن التي لم يتم اختزالها بعد ، نتيجة
المعدن ، ويحوّله إلى غاز ثنائي أكسيد الكربون وبخار الماء ، حسب مايل :

أكسيد الحديدوز + أول أكسيد الكربون ——— الحديد + غاز ثنائي أكسيد الكربون

ح ١ + ك ١ ——— ح ٢ ك ٢

أكسيد الحديدوز + غاز الهيدروجين ——— الحديد + بخار الماء

ح ١ + ن ١ ——— ح ٢ ن ٢

وفي هذا المستوى الحراري داخل الفرن ، يمكن لغاز أول أكسيد الكربون والهيدروجين
اختزال بعض الأكاسيد صعبة الاختزال المرافقة ، ولكن بنسب محدودة وقليلة .
وهذه التفاعلات ، تسبب الارتفاع في نسبة غاز أول أكسيد الكربون في الغاز الصاعد ،
الذي يتفاعل مباشرة مع كربون الكوك المتوهج متحوّلا إلى غاز أول أكسيد الكربون مرة
أخرى ، وبالتالي تزداد القدرة الاختزالية للغاز ويتم اختزال المزيد من الأكاسيد .
وباستمرار صعود الغازات وملامستها للشحنات الهابطة ، وفقدتها للحرارة ، تنخفض

درجة حرارتها ، وتقل نسبة ثاني أكسيد الكربون التي تتحول الى أول أكسيد الكربون ، وكذلك ينشط التفاعل :



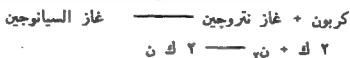
منتجاً لغاز ثاني أكسيد الكربون . كما تتحلل الكربونات مولدة كميات إضافية من هذا الغاز ، فترتفع نسبته الإجمالية في الغازات تبعاً لذلك ، وبالتالي تنخفض قدرة الغاز الاختزالية

ولهذا ، وبالإضافة إلى علم توافر الجو الحرارى اللازم ، يتوقف اختزال الخام تقريباً نهائياً عند درجة حرارة ٤٠٠°م . ويتساعد الغاز ليعطى جزءاً عما تبقى به من حرارة للخمات لمساعد في تجهيزها . ويفادر الغاز القرن في درجة حرارة تتراوح ما بين ١٥٠ و ٢٥٠°م ، يتكوينه المعروف كالآتى :

أول أكسيد الكربون به	٢٨ إلى ٣٠%
ثاني أكسيد الكربون به	١٠ إلى ١٢%
هيدروجين	١٥ إلى ٢%
نتروجين = الباقي	٥٦ إلى ٦٠%

محملاً بالأثرية الناعمة من المشحونات إلى وحدات تنقية الغاز ، ثم إلى أماكن الاستهلاك .

ويلاحظ فيما سبق ذكره أن غاز النتروجين الداخل مع الهواء اللافع ، لا يشارك في التفاعلات بقدر ملحوظ ، غير أنه يلعب دوراً هاماً في تجهيز الشحنة الهابطة ، وذلك بالتغلى عن الحرارة الكامنة به ، وهو دور في الواقع له أهميته في الاتزان الحرارى للفرن . غير أن جزءاً صغيراً من الغاز ، يتحد مع كربون الكوك مكوناً غاز السيانوجين حسب الآتى :



أو يتفاعل مع الهيدروجين مكوناً غاز النوشادر (الأمونيا) حسب التالى :



الباب السابع

« تشغيل الفرن العالي »

في هذا الباب، نتعرض للعمليات التي تجري بالأفران العالية، والتي تعتبر أساس تكنولوجيا التشغيل، في محاولة لتجميع أكبر قدر من خبرات العاملين بالأفران العالية، ولنتائج تجاربهم في بلدان العالم المختلفة، التي تطورت بمرور الوقت، وتقدم الصناعة، والمنافسة البناء في هذا المجال.

ومهما اختلفت طرق التشغيل باختلاف الخبرات أو المكان، إلا أنها جميعها تتفق في الهدف، وهو التشغيل بصورة مضمونة بعيدة عن الأخطار، تكفل الرقابة التامة على التشغيل، والضمان لتحقيق الإنتاج المنشود.

وسرد فيما يلي هذه العمليات، منذ بدء تشغيل الفرن، وخلال فترة عمله، وحتى توقفه لإعادة تبطينه أو لإجراء ما يسمى « العمرة الشاملة ». وهذه الفترة الزمنية، يطلق عليها « رحلة الفرن العالي ».

١ - إشغال الفرن :

بعد إتمام مراحل تشييد الفرن، وتبطينه، وتركيب الودنات، وأجهزة التسخن، الخ وإجراء تجارب الاختبار للمعدات، يصبح الفرن معداً للتشغيل، وتتخذ خطوات الإعداد لإشغاله. وتعتبر عملية تحفيف مباني الفرن من أهم مراحل الإعداد هذه.

ويتم تحفيف مباني الفرن بطرق عديدة، تختلف تبعاً للخبرة الخاصة وللظروف المحلية. ومن هذه الطرق، استخدام الحرارة المتولدة من احتراق المازوت أو غاز الأفران العالية أو غاز الكوك، باستخدام مواعد تركيب بصفة مؤقتة بفتحات نفخ الهواء أو بفتحات الحث والحديد. وحديثاً يتم تحفيف مباني الفرن باستعمال الهواء اللاصق بكية محدودة، عن طريق المسخنات، يبدأ بها في درجة حرارة منخفضة نسبياً « ٢٠٠ إلى ٣٠٠ درجة مئوية »، تزداد تدريجياً وعلى فترات حتى تصل حتى ٨٠٠ إلى ٩٠٠°م. وتستمر هذه الفترة من يومين إلى ثلاثة أيام حسب حجم الفرن، وحتى تصل درجة حرارة مباني الفرن في الطبقات العليا إلى درجة يضمن معها جفافها، وتخضع لمراقبة دقيقة.

والتدرج في التسخين ضروري ، حتى لا تتعرض المناطق لارتفاع مفاجيء في درجة حرارتها . مما يترتب عنه الإضرار بالمباني . وكذا لتعاشي خروج كميات كبيرة من البخار من الطبقات السفلى ، وإضرارها بمباني أعلى الفرن ، حيث درجة الحرارة لا تزال منخفضة . ولهذا اتبع في الماضي نظام تجفيف كل طبقة بعد الانتهاء من بنائها ، وقبل البدء في بناء الطبقة التي بعدها . وطريقة التجفيف باستخدام الهواء اللافح تجتذب الاهتمام ، حيث أنها تضمن تجفيف الطوب الحراري المبطن لمواسير الهواء من المسخنات وحتى الفرن . وهي الطريقة التي استخدمت في أفران مصانع الحديد والصلب بجمهورية مصر العربية .

عند الانتهاء من عملية التجفيف ، يترك الفرن ليبرد مرة أخرى ، ويجرى ذلك بخفض درجة حرارة الهواء المستخدم تدريجياً ، ثم يستبدل به هواء في درجة الحرارة العادية عقب وصول درجة حرارة المباني لدرجة منخفضة نسبياً ٥٠ إلى ١٠٠°م .

وعند انخفاض درجة الحرارة داخل الفرن ، إلى الدرجة التي يتمكن معها العاملون من الدخول من خلال فتحات الهواء ، يبدأ في شحن الفرن بشحنة خاصة ، الشكل (٣٨) ، تسمى شحنة الاشتعال ، ويتم خطواتها كالآتي :

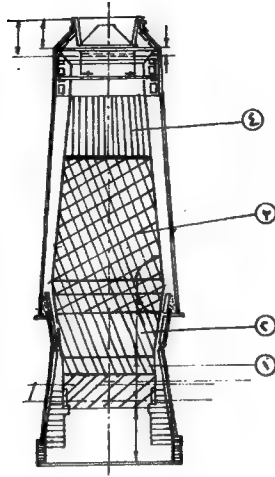
١ - تلاً بودقة الصهر بقطع من الخشب الصغير الجاف المتناسك ، الذي تعلوه قطع أكبر مثل فلنكات السكك الحديدية . وتصنف هذه في طبقات متتالية متعامدة المحور ، يعلو بعضها بعضاً ، ويملأ الفراغ الموجود بينها بقطع صغيرة من خشب سهل الاشتعال ، وخرق مبيلة بالزيوت والشحوم ، وأحياناً يرش الخشب بالمازوت أو الكيروسين للمساعدة في بترعة اشتعاله .

٢ - يتم تركيب جلب النفخ ، ويتم توصيلها بمياه التبريد .

٣ - تشحن من أعلى الفرن - عن طريق دورة الشحن العادية - كمية من الكوك ذي الأحجام الكبيرة ، ليتخلل جزء منه ، فراغ الخشب الموجود في بودقة الصهر ، ثم يعلوه إلى ارتفاع من ١,٥ إلى ٢,٥ متر تقريباً ، تبعاً لحجم الفرن .

٤ - يبدأ بعد ذلك في شحن شحنات من الكوك فقط ، تتبعها أخرى من الكوك مع إضافات من الحجر الجيري ، معها ١٠% من جلخ الأفران العالية ، حتى يصل مستوى المشحونات منتصف القرن تقريباً .

٥ - يبدأ بعد ذلك في شحن الحام ، بالإضافة إلى الكوك والحجر الجيري ، وتحسب القاعدية بحيث لا تتعدى ٧,٠% عند البداية ، وتأخذ في الارتفاع التدريجي ، مع استمرار



الشكل ٣٨ - كروكي شحنة اشعال الفرن

- ١- منطقة الخشب
- ٢- منطقة الكوك
- ٣- منطقة الشحنة الحقيقية
- ٤- منطقة الشحنة بفاعلية منخفضة

الشحن لتصل إلى ١.٠٠ عند نهاية شحن وملء بقية الحجم الفعال بالفرن وتسمى « شحنة الإشعال الخفيفة ».

٦ - تنخفض كمية الكوك الزائد عن احتياج الشحنة، مع الاستمرار في الشحن لتصل إلى الكمية الأصلية اللازمة قرب نهاية عملية الشحن.

٧ - يمنع نهائياً إضافة أى مشحونات من الزهر أو الخردة أو خلافة من المشحونات الحديدية.

٨ - يتم تشغيل دورة تبريد الفرن « للودنات ، وصناديق التبريد ، وأدشاش التبريد ، وللمجمعات . إلخ .

بالانتهاء من الخطوات السابقة يصبح الفرن معداً للاستعمال . وكثيراً ما يتم ذلك عن طريق فتحة الحديد ، حيث توضع خرق مبللة بالكبروسين أو البيرزين مع قش الخشب ، لتكون السبيل إلى إشعال شحنة الخشب الموجودة ببودة الصهر . ويجرى في نفس اللحظة كذلك الإشعال عن طريق فتحات نفخ الهواء . وعند التأكد من بدء اشتعال الخشب ببودة الصهر ، يبدأ في نفخ كمية صغيرة من الهواء اللاصق (حوالى ٢٠% من الكمية الأصلية) ، بمحدر شديد واحتياط بالغ ، متنبأ لحدوث أى انفجار بأعلى الفرن أو أمام الودنات . وقد يتم الإشعال بنفخ الهواء اللاصق مباشرة خلال فتحات الهواء فقط ، فتشتمل المشحونات أمامها . وفى خلال ذلك ، تترك فتحة الحديد مفتوحة ليخرج منها اللهب ، وكذا الهواة أعلى الفرن . ويفصل الفرن - خلال عملية إشعاله - نهائياً عن شبكة الغازات بالمصنع . كما تراقب درجة الحرارة للغاز أعلى الفرن خلال هذه الفترة بمنتهى الدقة ، حتى لا يتسبب ارتفاعها في اشتعال الغاز ، والإجترار بتجهيزات قة الفرن أو تجهيزات الشحن . ومع استمرار التشغيل ، تراقب حالة الفرن ، وتحاليل الغاز ، وحركة المحبسات ، إلخ . من خلال قراءات أجهزة مراقبة الفرن .

ويستمر العمل تبعاً لهذا النظام ، حتى بدء ظهور أول دلائل تكون الخبث بالفرن ، ويعرف ذلك بملاحظة خروجه بكميات ضئيلة من فتحة الحديد ، وعندئذ تغلق هذه الفتحة بواسطة ماكينة غلق الفرن ، بكمية محدودة من الطينة المستخدمة لهذا الغرض . وفى العادة ، تبدأ بوادر الخبث في الظهور بعد ١٢ إلى ١٥ ساعة من بدء التشغيل ، وذلك تبعاً لخواص الشحنة المستخدمة .

وهكذا يستمر العمل بالفرن الذى يحوى فتحة على فترات زمنية قصيرة « كل ساعتين »

ليخرج الحثب الذى تم تكوينه . ومن مظهر الحثب الناتج وخواصه . يمكن الحكم على حالة الفرن ، وبالتالي مدى احتياجه إلى المزيد من الوقود ، أو الاكتفاء بما تم شحنه . كما يحدد الموقف بالنسبة لباقي المشحونات ، بمعنى تقييم الموقف ، ليتمكن اتخاذ اللازم لسلامة التشغيل . أما بوادر الحديد ، فتبدأ في الظهور بعد ٢٥ إلى ٢٨ ساعة من بدء التشغيل . وفي العادة يحوى الحديد المنتج نسباً عالية من الكبريت ، والنشوات الأخرى ، التى تجعله غير صالح للاستخدام بأقسام الصلب ، إلى خرقة ، يمكن استخدامها بنسبة محدودة في شحنة الفرن بعد ذلك .

ومع تتابع الوقت ، تزداد كمية هواء النفخ تدريجياً ، وهكذا حتى تصل إلى الكمية المحددة لها ، ويتبع ذلك زيادة كمية الحثب والحديد المنتجة . وتطول الفترات بين الصبات حتى تصل إلى الزمن الطبيعى لها . وبذا يبدأ القرن مرحلة تشغيله ، التى تتراوح ما بين أربع وسبع سنوات . رغم أن بعض الأفران قد تعدى هذا الرقم ، مثل الفرن الثانى بالحديد والصلب بملوان ، والذى عمل منذ ١٩٦٠ حتى ١٩٧٢ ، أى حوالى إثني عشر عاماً بنفس البطانة ، ويعتبر ذلك رقماً قياسياً في الواقع لهذا الحجم من الأفران .

وعقب الصبات الأولى من المعدن والحثب ، ومع ظهور بوادر انتظام العمل بالفرن ، يبدأ في أخذ عينات من الغاز أعلى الفرن لتحديد تحاليه ، وعندما تنظم وتغلو نهائياً من الأوكسجين ، وتصل نسبة الهيدروجين إلى النسبة المسموح بوجودها بالغاز ، يبدأ في إدخال الفرن في شبكة الغازات دون أخطار .

ويفضل بعض العاملين بالأفران العالية ، إيقاف الفرن بعد بدء تشغيله بفترة ٤ إلى ٨ ساعات ، وفتح الجرس الأعلى للفرن ، وكذلك فتح فتحات نفخ الهواء ، وبالتالي السماح بحدوث عملية « سحب طبيعى » بالفرن ، تساعد في تنسيق عملية تسخين الطوب الحرارى ، ثم يستأنف النفخ بعد ذلك كالمعتاد .

٢ - شحن الفرن :

تعتبر طريقة الفرن العالى الإنتاج الحديد الزهر . من طرق الإنتاج المستمر ، ويرجع ذلك إلى طبيعة عملياتها التى تتصف بالاستمرار الذى لا يقبل التجزئة . فالهواء اللافت ينفخ باستمرار ، وغازات الأفران العالية تخرج باستمرار ، وصب الحثب والحديد يؤدى بانتظام وباستمرار . وعليه أصبح لزماً تغذية الفرن من أعلاه بالكوك والحام وخلافه بصفة مستمرة . وتسمى عملية تغذية الفرن بالمشحونات هذه بعملية « شحن الفن » .

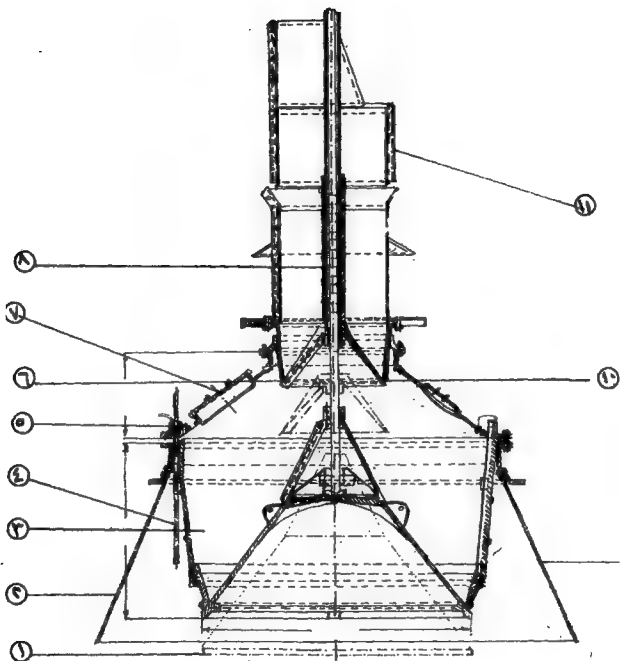
ولأهمية هذه العملية ، وللدور الهام والأساسي الذي تلعبه في فن تشغيل الأفران ، وأثرها في زيادة طاقاتها الإنتاجية واقتصادياتها ، تلقى هذه العملية كل الاهتمام . فبجانب الدقة في تجهيز وإعداد واختيار الخدمات المستعملة بالفرن العالي ، أمكن عن طريق الهيمنة على عملية الشحن ، سواء بتغيير وزن الشحنة أو ترتيب هبوطها بالفرن ، أو تغيير مستوى الشحن ، أو توزيع الكوك وبقاى المشحونات ، الخ ، الحصول على أفضل النتائج في التشغيل ، وتحقيق أعلى إنتاجية ، باستهلاك أقل كمية من الوقود لإنتاج الحديد الزهر ، حسب المواصفات المحددة المطلوبة .

يجرى عمليات شحن الفرن بتوالى وصول وتفريغ عربات شحن الفرن لما بها من كوك أو مشحونات « بقادوس » استقبال الشحنة أعلى الفرن ، الشكل (٣٩) ، حيث تهبط منها إلى « الموزع الدائرى » ثم إلى سطح الجرس الصغير ، وعند فتحه تهبط على سطح « الجرس الكبير » وعند فتحه تنزلق لداخل الفرن .
الشكل (٣٩)

ويطلق اسم « شحنة فرن كاملة » على كمية الخامات والكوك المقابل لها المشحونة في كل دورة من هذه الدورات ، والتي تكون في مجموعها عمود الشحنات بالفرن العالي ، والمكون من طبقات متتالية من الكوك والخام المنفصلين في وضوح بأعلى الفرن واللذين يحتلان ويزداد اختلاطهما . كلها استمر هبوط الشحنة بالفرن .

وعند فتح الجرس الكبير للسباح للشحنة التي فوقه بالهبوط إلى داخل الفرن ، تنزلق مكوناتها على سطحه المائل ، لترتطم « بجدار الفرن المسلح » ، ثم تتدحرج وتهبط عنه ليأخذ شكل سطح الشحنة أعلى الفرن .

وحيث أن مكونات الشحنة تختلف في أحجامها ، لذا تتجمع - في العادة - الأحجام الصغيرة ناحية جدار الفرن ، وتتدحرج الأحجام الأكبر إلى مسافات متباعدة نحو منتصفه . ومثل هذا التوزيع ، يؤدي إلى زيادة مسامية الشحنة عن منتصف الفرن ويعنى الإقلال من المقاومة لعامود الغازات الصاعدة ، وبالتالي كمية الغازات عند منتصف الفرن ، والإقلال منها ناحية الجدار . ويقال في هذه الحالة إن الفرن « يعمل من منتصفه » . وفي حالة انعكاس هذه الحالة ، بمعنى صعود الغازات بكثرة ملاسها لجوانب الفرن ، بسبب زيادة مسامية الشحنة الملاصقة للجدران عنها في منتصف الفرن يقال إن الفرن « يعمل من جوانبه » . وكلا الحالتين السابقتين غير مرغوب فيها في تشغيل الأفران العالية ، لأن تصاعد



شكل ٢٩ - قمة الفرن ومعدات الشحن أعلاه

الغازات وبكثرة . ملامساً لجوانب الفرن ، يؤدي إلى إتلاف مبردات الطوب الحراري ، وبالتالي تنرب المياه لداخل الفرن ، وما يتبع ذلك من متاعب . بالإضافة إلى ماتسببه هذه الغازات من أضرار للطوب المبطن للفرن . وكذلك فإن صعود الغازات عند منتصف الفرن ، يؤدي بعد فترة من التشغيل ، إلى تكوين رواسب الفرن العالي ، التي تقلل من كفاءته وتسبب الكثير من متاعب التشغيل . ولهذا كله يسمى العاملون بالأفران العالية دوماً ، إلى تشغيل أفرانهم بما يحقق حسن توزيع الغازات الصاعدة على مقطع الفرن في جميع المستويات .

وقد أمكن - عن طريق تجهيز الأفران الحديثة بموزع الشحنات ، وبأجهزة القياس الدقيقة ، التي تحدد كمية الهواء اللائع الداخلة بكل فتحة من فتحات نفخ الهواء (الودنات) ، بالإضافة إلى استخدام تلك الأجهزة التي تقوم بقياس درجات حرارة الغازات الصاعدة قرب سطح شحنة الفرن وتحليلها - التحكم في توزيع المشحونات والكوك بأعلى الفرن ، بما يحقق عدالة توزيع الغازات الصاعدة على المقطع ، ولتكمّل الاستفادة التامة بالحرارة الكامنة بها ، في تجهيز الشحنات الحافظة

وبالإضافة إلى ما ذكر آنفاً فإن لدى العاملين بالأفران ، إمكانيات عديدة للتغلب على أي ذبذبات في تناسق توزيع الغازات الصاعدة ، وبالتالي التحكم فيه والهيمنة عليه . فمثلاً :

١ - عند زيادة وزن الشحنة على قدر معين ، تزداد كمية الحام المتدرج إلى منتصف الفرن ، وبالتالي تتصاعد الغازات ملامسة لجوانب الفرن ، والعكس ينخفض وزن الشحنة ، تتصاعد الغازات ، نتيجة تراكم الحام بجوار جدار الفرن بكثرة عن المنتصف ، وعليه يمكن بالاختيار المبني على التجربة ، تحديد الوزن الأمثل لشحنة كل فرن .

٢ - بزيادة المسافة بين نهاية فتحة المجرس الكبير وسطح الشحنة (مستوى الشحن) عن مقدار معين ، يترام الكوك بمنتصف الفرن ، وبالتالي يسهل صعود الغازات من هذه المنطقة ، ويقلل هذه المسافة يترام الحام في منتصف الفرن ، وبالتالي يزداد صعود الغازات ملامسة لجوانب الفرن ، وعليه يمكن تحديد المسافة المثلى لتحقيق أفضل توزيع للغازات الصاعدة .

٣ - يشحن الكوك والخامات في شحنات متعاقبة بالفرن بعضها منفصل عن الآخر ، أو يمكن تجميع كل شحنة (كوك+ ما يقابله من باقي الخامات) أعلى المجرس الكبير ، ثم السحاح

لها بالهبوط مرة واحدة . وعليه يتعدد ويتنوع ترتيب هبوط الشحنات داخل الفرن ، حسب إتاحة الفرصة لها للهبوط من فوق الجرس الكبير ، فيقال مثلا : كوك . كوك / خام . خام ، ومعنى ذلك عربة شحن كوك تفرغ بالقادوس إلى الجرس الصغير ، ثم أعلى الجرس الكبير ، تليها أخرى بنفس الوضع ، ثم يسمح بفتح الجرس الكبير ، ويخلق ثانية ، لي شحن أعلاه حمولة عريق شحن من الخامات ، ويفتح الجرس الكبير بعدئذ . أو يقال كوك . كوك . خام . خام . بمعنى أن حمولة عربة للشحن من المواد المحددة حسب ترتيبها ، تمر خلال مراحل الشحن ، لتجمع كلها حسب الترتيب الآنف الذكر ، على الجرس الكبير الذى يفتح بعدئذ . وهناك العديد من التبادل والتوافق ، فيما يختص بعدد عربات كل خامات وتنظيم هبوطها ، نورد ما يلى كمثال لها :

- ١ - خام . كوك . كوك / خام . حجر جيرى . كوك . كوك . / .
- ٢ - خام . خام / حجر جيرى كوك . كوك / .
- ٣ - خام . حجر جيرى كوك . كوك / خام . خام حجر جيرى .
- ٤ - كوك . كوك . كوك . / خام . خام . حجر جيرى / .
- ٥ - خام . كوك . كوك / خام . حجر جيرى . كوك . كوك / .
- ٦ - خام . كوك . كوك . حجر جيرى / كوك . كوك خام . كوك / .

وباختصار يمكن القول بأن الخبرة العملية والمعرفة الميدانية والتقدم التكنولوجى قد أمدت العاملين بالأفران العالية ، بإمكانيات كبيرة للهيئة على شحن الفرن ، وبالتالى معالجة أى صعوبات تتعلق به . بل وجعلت منه مقياساً لرقابة عمل الفرن وانتظامه . فيمكن من خلال مراقبة عدد الشحنات التى يتم شحنها خلال فترة زمنية محددة ، معرفة حالة الفرن وعملياته ، ومن ثم فإذا انخفض العدد عن المعدل ، مع ثبات باقى مؤثرات التشغيل ، كان ذلك مؤثراً يدل على ارتفاع درجة حرارة الفرن ، واحتمال تطبيق الشحنات . وإذا زاد العدد عن المعدل ، دل ذلك على برودة الفرن . وهكذا يمكن التنبؤ بأى عطب أو خلل فى التشغيل قبل وقوعه ، مما يمكن بالتالى من اتخاذ الإجراء اللازم لمعالجته والتغلب عليه .

٣ - الإعداد لصب الفرن - عملية فتح الفرن :

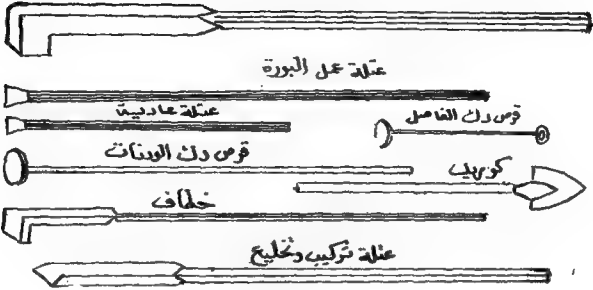
يبدأ الإعداد لصبة الفرن فى العادة ، بعد مدة وجيزة من انتهاء الصبة السابقة ، حيث يقوم العاملون بنظافة مخلفات الصبة السابقة ، برفعها من مجارى الحديد والخبث ، ثم بترميم

هذه الجارى ، والاطمئنان على سلامتها ، خاصة الجرى الرئيسية ، ومباني فاصل الحديد والخبث . ويتطلب هذا العمل خبرة خاصة ، وقوة تحمل كبيرة ، نظراً للظروف التي يؤدي فيها . ويتم ترميم مجارى الحديد والجري الرئيسية ، بمخلطة من الطين الحرارى ، تختلف عن تلك المستخدمة لمجارى الخبث في تكوينها الكيميائى والطبيعى وفي مكوناتها ، ثم يجري تجفيفها تماماً ، ياشعال الخبث بها ، أو ياشعال غاز الأفران العالية ، إذ أن أى تلامس بين الحديد السائل والماء ، يولد انفجارات بالغة الخطورة .

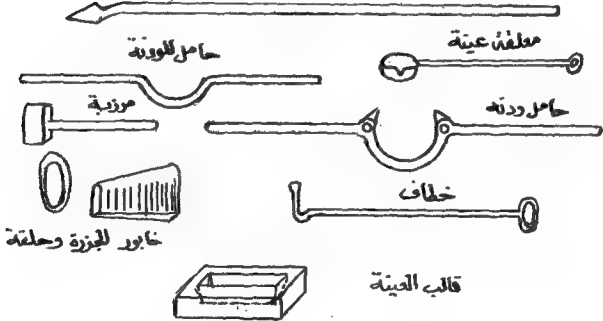
وعند قرب حلول موعد الصبة ، يبدأ عامل أول الفرن أو الملاحظ - شخص له خبرة طويلة - في إزالة الطين الحرارى المغلق لفتحة الحديد ، جزئياً وباحتياطات بالغة ، وذلك باستخدام «عجلة الفتحة» . الشكل (٤٠) ، ويحصل نتيجة عمله على ثقب دائرى بقطر ١٠ سم تقريباً . وهو في خلال عمله ، يلاحظ دوماً مدى تماسك جوانب الفتحة واتجاه النقب داخل الفرن ، الذى يميل في العادة ٢٠° عن الأفق . ويستمر العامل في العمل ، وإزالة المخلطة الجافة الناتجة ، حتى يبدأ لون المخلطة في التغير من اللون الرمادى إلى اللون البنى الداكن ، وهذا دليل على الاقتراب من الحديد السائل . وعندئذ يتوقف عن العمل . ومن خلال ملاحظته تماسك المخلطة ، ومدى جفافها ، وحالة جوانب الفتحة ، يتمكن العامل من الحكم على ما سيكون عليه سير الصبة بعد ذلك ، وبالتالي يبدأ في اتخاذ الاحتياطات اللازمة للتغلب على أية متاعب قد تحدث في حالة الصبات غير عادية «توقع اتساع فتحة الحديد خلال الصبة وما يعقبها من اندفاع المعدن ، توقع خروج قطع من الكوك في نهاية الصبة ، الخ .

وتعتبر المسافة التي تم تفرغها من المخلطة «طول النقب» ، وهو من أهم مؤشرات التشغيل للأفران العالية ، ويسمى «طول فتحة الحديد» ، ويتطلب التشغيل السليم للأفران العالية ، ضرورة المحافظة عليه عند مقدار معين يتناسب وقطر بودقة الصهر . وقد حدد هذا المقدار بالنسبة للأفران التي يبلغ قطر بودقة الصهر بها أقل من ٥ أمتار بطول يبلغ من ١٢٠ إلى ١٥٠ سم . وبالنسبة للأفران بقطر أكبر من ٥ أمتار ، بطول أكبر من ١٨٠ سم . ومن الناحية العملية ، تسبب زيادة أو نقص «دخول فتحة الحديد» عن هذا المقدار ، أضراراً بالتشغيل فتلاً يتسبب قصر الفتحة ، في اندفاع المعدن والخبث بشدة عند فتح الفرن ، وكذا في خروج كميات من الكوك ، تراكم بالجري الرئيسى وأمام الفتحة ، مما قد

عتلة استخراج الودينات



الجزرة



عتلة تنح



شكل رقم ٤٠- بعض العدد والمعدات المستخدمة
للشغيل بصها لة الفوت

يتعذر معه إغلاق الفرن ، وبالتالي ضرورة إيقافه لإزالتها ، ليتمكن إغلاق الفرن . هذا بجانب عدم التمكن من تفريغ الفرن تماماً من الخبث والحديد الذى به عند قصر الفتحة . ولو استمر قصر الفتحة لفترة طويلة دون علاج ، فقد يؤدي ذلك إلى ما يسمى « تصدع بودقة الصهر » بالفرن العالى ، وإنه وإن كان ذلك التصدع يحدث نتيجة العديد من لأسباب ، إلا أن اقتراب المعدن والخبث ، وملامستها لمباني البطانة في هذه المنطقة بالفرن ، يعد أكبرها مفعولاً . كما أن قصر الفتحة قد يؤدي إلى فتح الفرن تلقائياً ، وعلى حين غرة ، مما يسبب إرباكاً للعاملين ، وخسائر جسيمة للمعدات والآلات .

أما زيادة طول الفتحة عن الحد المحدد ، فيسبب طول الزمن الذى تستغرقه الصبات ، وبالتالي يسبب تضارب مواعيدها ، بالإضافة إلى انخفاض درجة حرارة المعدن ببوداق الحديد خلال هذه الفترة .

ويعالج قصر الفتحة بزيادة كمية الخلطة المستخدمة في إغلاق الفتحة ، والتحكم في مكوناتها ، وإضافة القار أحياناً إليها ، وقد يتطلب الأمر تخفيض كمية النفخ ، مع ضرورة زيادة كمية الخبث المحسوبة من فتحة الخبث العلوية . أما طول الفتحة ، فيعالج بالإقلال من كمية الخلطة المستخدمة في الفتحات التالية ، وحتى الوصول إلى الطول المحدد .

وبعد الانتهاء من عمل النقب « البورة » ، تستخدم ماكينة فتح الفرن في ثقب القشرة الداكنة داخل الفرن ، ثم تسحب ، حيث ينساب الحديد أولاً . ويمضى الزمن ، ينساب خليط من الحديد والخبث إلى المجرى الرئيسى حتى فاصل الحديد عن الخبث ، حيث يتم فصلها تبعاً للوزن النوعى لكل منها ، ولينساب كل منها في المجرى المخصصة له إلى البوداق . وأنواع مكثات الفتح عديدة :

١ - جاكوش فتح الفرن :

والذى يتكون من مطرقة تعمل بالهواء المضغوط ، تسبب حركتها الترددية السريعة إلى الأمام وإلى الخلف ، في دفع قضيب مركب بمقدمتها داخل الفرن ، وبالتالي فتح الفرن .

٢ - مكثات الفتح الكهربائية :

والتي تعمل بموتور يقوم مقام الهواء المضغوط في إعطاء الحركة الترددية ، أو يتسبب في دوران القضيب ، وبالتالي يسبب دخوله في الفرن ويفتحه .

ومكثات الفتح تركيب على عمود بجوار فتحة الفرن ، بحيث تتحرك لتأخذ وضعها عند استعمالها ، ثم تحرك إلى جوار الفرن بعيداً عن المجرى الرئيسى بعد الفتح ، وعليه فهى

مجهزة بموتور للحركة الجانبية، بالإضافة إلى موتور التشغيل.

وتعتبر «زاوية ميل» قضيب ماكينة الفتح عن الأفق في غاية الأهمية حيث أن التغير في قيمتها، يؤدي إلى فتح القرن في مناطق مختلفة به، وبالتالي إضعاف تماسك بطانة القرن في هذا المكان الحساس. هذا بالإضافة إلى أن إقلال قيمة هذه الزاوية عن القدر المحدد لها، يؤدي إلى سهولة خروج قطع من الكوك، تسبب في إغلاق الفتحة، وتحتاج إلى مجهود في التسليك، وبالتالي تؤدي إلى زيادة زمن الصبة.

وعند الانتهاء من الصبة، ويصرف ذلك بتقص كمية الحث والحديد التي تخرج من الفتحة وظهور لب خارج من القرن، يعطى ملاحظ القرن إشارة لاصل مختص لإغلاق القرن، أو إغلاق فتحة الحديد. ويستخدم لهذا الغرض «مكته غلق القرن» وتسمى باللغة الدارجة «المدفع»، التي تتكون من أسطوانة مغلقة، يتحرك بداخلها «بسم». وقلاً هذه الأسطوانة بالخلطة المرورية المستعملة في إغلاق القرن ثم تقفل. ويتحرك البسم إلى الأمام، ضاغطة الخلطة إلى أي فراغ بالأسطوانة، أو بمقدمة المدفع المخروطية الشكل، والتي تنتهي بها الأسطوانة. ويستمر هذا الضغط حتى يزلق بعض الخلطة من المقدمة، تأكيداً لامتلاء الفراغ بها كلية. وعند صدور الأمر بالإغلاق، تتحرك الماكينة في حركة دورانية، لتأخذ مكانها أمام الفتحة، وغلق مقدمتها المخروطية فتحة الحديد تماماً، ثم يحرك البسم وبسرعة - مجرد تلامس المقدمة وسطح الفتحة - لتدفع الخلطة إلى داخل القرن، مغلقة الفتحة تماماً.

وتجهز مكته الفتح بموتورات كهربائية لتحريك البسم، ولتحريك المكته في الاتجاه الأفق حركة دورانية. كما تجهز بفرازل تمنع حركة الماكينة من أمام الفتحة نتيجة الضغط عليها من داخل القرن. وعادة تجهز أيضاً بمعدات كهربائية، تحدد بداية ونهاية حركة كل جزء بها. كما تحمل مؤشراً يدل على كمية الخلطة التي استخدمت في عملية الإغلاق، يساعد في معرفة موقف طول فتحة الحديد، وبالتالي الهيمنة عليه.

بعد ضغط الخلطة داخل القرن، تظل مكته الإغلاق مكانها مغلقة للفتحة لمدة وجيزة، قبل أن يسمح بتحريكها من مكانها، وهو الوقت اللازم تماسك الخلطة نسبياً، وبالتالي الاطمئنان إلى إغلاق القرن. ثم تحرك بمنتهى الحذر (لاحتمال فتح القرن) إلى موضعها بجانب القرن، حيث يتم على الفور فتح الأسطوانة والماسورة المخروطية وتنظيفها من مخلفات الخلطة السابقة، ثم تملأ من جديد، إعداداً للصبة القادمة.

وقبل إغلاق الفتحة بالمكنة ، يلزم أن تكون جوانب فتحة الفرن وسطحها نظيفة تماماً من أى عائق قد يعوق تلامس مقدمة المكنة تماماً ، وبدقة مع سطح الفتحة ، فقد يترتب على ارتكاز مقدمة المدفع على أى عائق ، عدم تلامسها ، وبالتالي فعند ضغط الخلطة إلى داخل الفرن ، تتسرب هذه من خلال الحيز الموجود بينها ، ومن ثم لا يفلق الفرن ، ويستمر خروج بقايا الحديد التي تتسبب في تآكل فوهة مقدمة مكنة الإغلاق ، ولهذا يتحتم تخفيض معدل نفخ الفرن أو توقف الفرن ، حتى يتم تغيير هذه ، ثم إغلاق الفتحة بعد ذلك .

٤ - فتح فتحة الخبث :

بعد صبة الفرن بحوالى الساعة ، تتجمع كمية من الخبث تملأ الحديد ببوودة الصهر ، بحيث تصل إلى مستوى فتحة الخبث الجانبية ، وعليه يبدأ في فتح هذه للحصول منها على مايسمى « الخبث العلوى » . ويتم ذلك - في الأفران غير المجهزة بماكينته قفل فتحة الخبث - بالدق على نهاية قضيب من الحديد يفلق هذه الفتحة ، ثم تركيبه من المرة السابقة ، ليدخل قليلاً إلى داخل الفرن ، ثم يسحب هذا القضيب لينساب الخبث إلى مجرى يتم دكه بخلطة خاصة من الطين الحرارى ، تحتوى على نسبة عالية من الكربون . ويجدد بناء المجرى مع استمرار ترميمه ، في كل مرة يستخدم فيها خلال بقية اليوم ، مع إزالة أى أثر للمعدن الهارب في كميات صغيرة مع الخبث الذى يتجمع عادة تحت جلية الجللخ الصغيرة ، أو ملاساً لصاج الفرن . ويفتح الفتحة ينساب الخبث إلى بواقه ، وعند انتهاء الصب ، تفلق الفتحة بواسطة (الجزرة) ، (أنظر الشكل ٤٠) ، وهى عبارة عن قضيب من المعدن يلحم في إحدى نهايتيه مخروط من الصاج مقلق ، فيدخل الجزء المذهب من المخروط في فراغ جلية الخبث الصغيرة ، ويتلامس سطحه مع جوانب الجلية ويغلقها . وبعد فترة من الزمن ترفع هذه ، ويدق في مكانها قضيب يتراكم عليه بعد وضعه ، قليل من الخبث ، فيفلق الفتحة تماماً ، وهو القضيب الذى يتم سحبه عند بدء الفتح .

وقد يحدث أحياناً أن لا يخرج هذا القضيب بسهولة ، فيركب عليه خابور يربط إليه بواسطة حلقة من الصلب ، ثم يدق على الخابور في الاتجاه خارج الفرن ، وبالتالي يسحب هذا في حركته معه القضيب ، ويتم فتح الخبث . وقد يحدث أن يتم سحب القضيب دون خروج الخبث ، فيعاد إدخاله ثانية والدق عليه إلى داخل الفرن ، إلى مسافة أبعد ثم سحبه فتفتح فتحة الخبث .

أما إذا امتنع رغم كل ذلك خروج الخبث ، فتفتح باستخدام الأوكسجين ، ويتلخص ذلك في حرق الأوكسجين الخارج من أسطوانة خاصة خلال منظم يخفض من ضغطه الأصلي ، حيث أن ضغط الأوكسجين في اسطواناته يتراوح ما بين ١٥٠ ، ١٨٠ جوى . وعليه تفتح الأسطوانة لينساب منها الغاز بكية صغيرة خلال خرطوم - بمواصفات خاصة - ثم إلى ماسورة من الصلب ، قطرها من ٦ إلى ٩ م ، يوجه طرفها الآخر الحمر إلى قطع من الكوك أو الخشب المتوهج ، حيث يبدأ اشتعال الأوكسجين . وعند التأكد من ذلك ، تزداد كميته ثم يسد طرف الماسورة هذا إلى منتصف جلبة الخبث الصغيرة ، فيتم فتحها وينساب الخبث منها . وهذه العملية من العمليات التى تحتاج إلى دقة ومهارة خاصة ، ذلك لأن الحرارة الناتجة عن احتراق الأوكسجين تسبب إسالة معدن الماسورة المستخدمة ، عن طرفها القريب من اللهب ، وهذا المعدن السائل ، يؤدي إلى تآكل نحاس جلبة الخبث عند سقوطه على سطحها ، وربما أدى إلى إحداث ثقب بها ، مما يسبب متاعب تشغيل كبيرة بعد ذلك . ولهذا ، وفى مثل هذه الحالات ، يغطى الجزء الأسفل من الجلبة برمل المسايك ، منعا لتلاصق المعدن المنصهر وسطح الجلبة .

ويعمل ما يحدث عند فتح جلبة الخبث باستخدام الأوكسجين ، بأنه وكنتيجة لاحتراق الغاز ، تولد في المحيط كمية عالية من الحرارة ، تساعد في تكوين مركبات جديدة من حديد الماسورة المنصهر ، ومركبات الخبث المفلق للفتحة ، وتتميز هذه المركبات بانخفاض درجة حرارة إسالتها ، فيتوالى حرق الأوكسجين ، تنصهر هذه ، وتتكون مكانها فجرة ينساب من خلالها الخبث الساخن من داخل الفرن ، ليكمل إسالة بقية الخبث المفلق أصلا للفتحة .

وتستخدم حاليا في كثير من بلدان العالم ، ماكينة لفتح جلبة الخبث ، قاتل في شكلها ونظرية تشغيلها ، تلك المستخدمة في فتح الفرن ، وتركب هذه إلى جوار فتحة الخبث . وفى الأفران ذات فتحة الخبث ، تركيب لكل منها ماكينة خاصة ، وبالتالي يمكن تحاشي الكثير من الأخطار التى قد تصيب العاملين في هذه المنطقة المساسة .

ويجب عند استخدام الأوكسجين في فتح الفرن ، أو فتح جلبة الخبث ، التأكد من عدم وجود أى أثر للمشحومات أو الزيوت في مسار الأوكسجين ، وخاصة في الخرطوم المستخدمة ، لأن ذلك يولد انفجارا خطيرا ، قد يفتت الخرطوم ويضر بالعاملين .

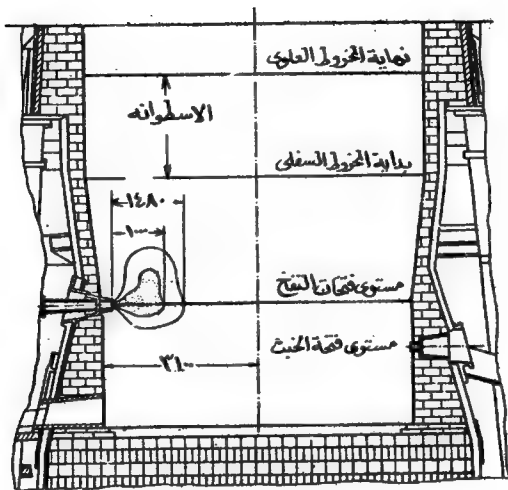
٥ - تركيب وتغيير معدات التبريد :

يستخدم في الأفران العالية ، ويفرض تبريد بطانة الفرن ، ومداخل ومخارج الهواء اللافح ، والخبث ، مبردات عادة من الحديد الهياتى للأولى ، ومن النحاس للثانية ، يمر الماء خلالها ، ليحفظ لها شكلها ، ويمتص جزءا من الحرارة المتعرضة لها. ومن الثابت عمليا ، أن كفاءة التبريد هذه ، تقف عند حد معين ، وبالتالي تتآكل بطانة الفرن - في المراحل الأولى من تشغيله - بمعدل سريع ثم يبطء ، حتى تكتسب بعد فترة « بروفيللا » أكثر نباتا ، وأقل تآكلا . وعند هذا الحد ، تتعرض أسطح أو مقدمات هذه المبردات إلى درجات حرارة عالية ، بالإضافة إلى تلاصقها المباشر مع الخبث والحديد في المناطق السفلى من الفرن ، الأمر الذى يسبب لها أضرارا كبيرة ، خاصة إذا ما تعرضت لانقطاع مفاجئ للماء المار بها لسبب أو لآخر ، وينجم عن ذلك حدوث ثقب أو شروخ بها ، ينساب منها الماء الداخل الفرن . ويكتشف ذلك عن طريق زيادة نسبة الهيدروجين في الغازات الخارجة من الفرن ، أو عن طريق مراقبة كمية المياه الخارجة من المبرد ، ودرجة حرارتها أو ضغطها . كما يمكن معرفة ذلك ، بملاحظة برودة الخبث والمعدن المفاجئة ، أو بزيادة معدل الشحنات للفرن في الساعة ، الخ . من العديد من شواهد الخبرة ، وعليه يستوجب الأمر سرعة التخلص من المبرد المعطوب ، واستبداله بعد تحديده .

وتتم عملية التحديد عادة بحجرة العاملين ، ثم يؤكد ذلك بتوصيل الجزء المعطوب بقياس في دائرة التغذية ، لقياس كمية الماء الداخلة والخارجة . وقد يستخدم أحيانا جهاز للضغط ، يوصل بمدخل المبرد المعطوب ، ثم يخرج المبرد ، وتضغط كمية من الماء من الجهاز إلى المبرد ، إلى أن يصل المبرد إلى مقدار معين ، ويترك فترة من الزمن يراقب خلالها جهاز المانومتر المركب بالجهاز ، فإذا انخفضت قيمة الضغط عن الضغط الأصل ، كان ذلك دليلا على عطب المبرد . أما إذا ثبتت القيمة أو زادت قليلا ، نتيجة ارتفاع درجة حرارة الماء بالمبرد ، دل ذلك على سلامة المبرد . وبالتالي يتحتم اختبار الجاويرين له ، أو البحث عن سبب آخر لبرودة الخبث والحديد .

- بعد تحديد المبرد المعطوب ، يفلق مدخل مياه التبريد المناظر له جزئيا ، بفرض الإقلال من كمية المياه الداخلة إليه ، وبالتالي الإقلال من تسربها لداخل الفرن ، ثم يبدأ فوراً في اتخاذ الإجراءات اللازمة لاستبداله .

فى حالة الودعات أو مبرداتها ، أنظر الشكل (٤٦) ، يوقف الفرن ، وتفك توصيلات



شكل (١) - منطقة الأكسدة

الهواء اللافع الخاصة بالمبرد المعطوب، وذلك بإزالة «خوابير» تثبيت الكوع الكبير إلى ماسورة الهواء اللافع، ثم يسحب الكوع إلى الخلف، بواسطة شدادات تعلق في أماكن خاصة مجهز بها الفرن، وبالتالي تسحب ماسورة النفخ، حيث يبدأ بعدئذ في دك شحنة الفرن خلف المبرد المعطوب، بكرات من طينة حرارية، وبغاية تامة، وذلك حتى لا تنهار المشحونات عند سحب الودنة أو المبرد من مكانها، وتسبب متاعب لإزالتها عند تركيب البديل الجديد. كما أن ذلك يمنع تعرض الودنة أو المبرد الجديد عند تركيبه، لحرارة الفرن مباشرة قبل التمكن من توصيله بمياه التبريد، وبالتالي تجنب احتمال حدوث أى أضرار به. بعد ذلك يبدأ في فك توصيلات مياه التغذية، ثم يسحب الجزء المعطوب من مكانه، وذلك باستخدام مطرقة خاصة، عبارة عن عامود غليظ من الصلب ينتهى بشفة سميكة على هيئة عخلاف، أنظر الشكل (٤٠) يركب في الحيز بين سطح المبرد (الودنة) وعارض سميك من الصلب، يركب في فجوتين خاصتين تكونها حافتان بارزتان بحجم المبرد (أو الودنة). وبالطرق المنتظم على هذا العارض، يتخلخل المبرد (أو الودنة) من مكانه فيسحب خارجا. وقد يتعذر أحيانا عملية إخراج المبرد (أو الودنة)، حيث أنه وكنتيجه لخفض كمية مياه التبريد، يعتمد ويتأسك بجدار الفرن، فعندئذ يجب أن تتوقف عملية الدق، ويترك المبرد (أو الودنة) لفترة من الزمن، ثم يبرد فجأة، وذلك بزيادة كمية مياه التبريد له دفعة واحدة. وحينئذ يجب أن يبتعد العاملون عن مداخل الهواء اللافع، ذلك أنه يحتمل أن يتسرب جزء من هذا الماء لداخل الفرن، وبالتالي يتكون «غاز الماء» سريع الاشتعال، مما قد يسبب خروج لهب من مداخل الغاز. وبعد انتهاء عملية التبريد المفاجيء يبدأ ثانية الدق لإخراج الجزء المعطوب. وربما يتكرر ذلك للعمل أكثر من مرة. فإذا فُسلت كل المجهودات لإخراج المبرد (أو الودنة)، يلجأ إلى تسخينه بقطع من الخشب الملتهب توضع في تجويفه، يعقبها تبريد مفاجيء، وهكذا... حتى يتم سحبه من موضعه. أما إذا تعذر رغم ذلك كله، إخراجها من مكانه، فيقطع إلى أجزاء باستخدام لهب الأوكسجين، ويرتفع كل جزء منها على حدة. ويستغرق ذلك وقتا طويلا، وبجهودا مضنيا. ويحدث ذلك عادة عند عدم نظافة المنطقة خلف المبرد (أو الودنة) داخل الفرن، ووجود معدن منصهر مرتبط بسطح المبرد الداخلى، لا يتمكن العاملون من تنظيفه. وباتتهاء عملية إخراج المبرد (أو الودنة) من مكانه، يبدأ في تنظيف جوانب هذا المكان، وعادة إضافة طبقة طينية حرارية رقيقة في محيطه. ثم تختبر ملائمة المكان المعد

لتركيب الجزء الجديد ، الذى يتم رفعه إلى مكانه ، باستخدام رافع خاص عبارة عن قضيب مشكل بهيئة قوس تلائم شكل المبرد الخارجى ، ويحمله العاملون من أطرافه ، انظر الشكل (٤٠) ، وبالتالى يوضع البديل فى مكانه بصفة مبدئية ، حيث يتم توصيل مياه التبريد إليه ، ثم يركب فى مكانه بدقة بعد ذلك ، بالطرق على العارض ، باستخدام المطرقة ، وعند انتهاء ذلك ، يبدأ فى تركيب مجموعة النفخ ، حيث تركيب ماسورة النفخ والكوع الكبير وخوابير التثبيت والتدداد الملحوم بجسم الفرن . ثم تختبر المجموعة ضد التهريب ، ويتطلب ذلك تحديد موضع ماسورة النفخ من الكوع الكبير ، مع بدء فك المجموعة ، ليعاد تركيبها فى نفس الوضع . وبانتهاء التركيب يعاد تشغيل الفرن .

وتكون مجموعة توصيلات الهواء اللائق والتدداد الذى يربطها إلى جسم الفرن ، تجهيزات تمتع أى احتال لطرد مجموعة الودنات أو المبردات من مكانها ، بفعل الضغط عليها من داخل الفرن .

أما جلبة الخبث ، ومبردها ، فيحكم تثبيتها فى مكانها ضد هذا الضغط ، مجموعة من الخوابير تربطها والمبرد بجسم الفرن . تمتع أى احتال لإزاحتها من مكانها . ويتم خلصها وتركيبها ، بنفس الطريقة المتبعة مع ودنات النفخ ومبرداتها .

ويستدعى تركيب مبرد جلبة الخبث غالبا تغليفه قبل تركيبه بطبقة من الطينة الحرارية ، تسد كل الفراغ المحتمل وجوده بين سطحها الخارجى ، ومباني الفرن فى هذه المنطقة ، حتى لا يتسرب الخبث أو المعدن من خلال هذه الفراغات إلى الخارج ، مسببا تآكل الجلبة أو الإضرار بجسم الفرن .

أما مبردات الطوب الحرارى فى المخروط العلوى ، والى تتكون من صناديق التبريد ، المكشوفة ، فيتم الكشف عن سلامتها بإغلاق ماسورة التغذية ، ومراقبة كمية المياه المتبقية فى الصندوق لفترة ما ، فإذا نقصت كان ذلك دليلا على وجود ثقب بالصندوق ينساب منه الماء إلى داخل الفرن . وعليه يتم رفعه من مكانه كى يستبدل به آخر سليم . وقد يتطلب ذلك فى كثير من الأحيان ، تقطيع الجزء الملامس لمباني الفرن من الصندوق ، باستخدام حسب الأوكسجين ، ثم تنظيف وإعداد مكان البديل . وخلال عمليات القطع والتجهيز هذه ، تدك الشحنة داخل الفرن ، بطبقة من الطين الحرارى ، لمنع دخول الهواء الجوى نتيجة السحب ، وبالتالى احتال تكوين خبث يتساقط فيخلق الفتحة نسبيا ، ويتسبب فى عدم إمكان سرعة تجهيز المكان لتركيب الصندوق الجديد . وإذا حدث واكتشف خلل مبرد ما خلال أيام

التشغيل ، تغلق مياه التغذية عنه نهائيا ، ويخلق بطبقة حرارية بدون توقف التشغيل ، ويترك كذلك حتى موعد الصيانة المقبلة ، حيث يتم تغييره .

أما إذا جهز الفرن بالمبردات الحديثة ، انظر شكل (٣٥) التي يصعب أو يتعذر خلطها من مكانها ، فيكفى في مثل هذه الحالات ، بإغلاق تغذية المبردات وتركها ، وخاصة مبردات بودقة الصهر والمخروط السفلى .

٦ - توقف الفرن العالي :

تتطلب عملية توقف الفرن العالي ، العديد من الإجراءات الدقيقة المعقدة والمتشابكة ، والتي تدعو دواعى الأمن وسلامة التشغيل ، إلى العناية الفائقة بإتمامها خطوة بعد الأخرى ، كما أنه يلزم إيقاف الفرن عن العمل ، برودة الشحنة « ولو جزئيا » ، وبالتالي احتمال العديد من المتاعب عند إعادة التشغيل . ولهذا كله ، التزمت تكنولوجيا تشغيل الأفران العالية ببدأ التشغيل المستمر والإقلال من التوقفات ما أمكن . وعموما يمكن تقسيم توقفات الأفران العالية إلى الأنواع التالية :

الأول : توقفات محدودة الزمن ، تتطلبها أعمال الصيانة لبعض معدات التشغيل الميكانيكية أو الكهربائية ، أو لتغيير الودنات أو جلب الخبث أو ميزاتها المعطوية . ولا يتعدى زمن التوقف في هذه الحالات أكثر من ١٦ ساعة متواصلة .

الثاني : توقفات تستغرق من ثلاثة إلى أربعة أيام ، لإصلاح معدات الشحن أعلى الفرن أو تغييرها ، أو تغيير التسليح أعلى المخروط العلوى . ويتم هذه العملية مرة كل سنتين (خاصة مع الأفران ذات الضغط العالى بالقمة) .

الثالث : توقفات هدم وإعادة بناء البطانة الحرارية لمنطقة المخروط العلوى ، وتستغرق هذه من ١٥ إلى ٢٠ يوما ، وتتبعها في العادة إصلاحات وأعمال صيانة أخرى بالوحدات المساعدة . ويتم هذه العملية مرة كل أربع سنوات .

الرابع : توقف لعمرة شاملة ، يتم خلالها هدم وإعادة تبطين الفرن ، وإصلاح معدات الشحن أو تغييرها . وكذا تجرى عمرات شاملة بالوحدات المساعدة كالمسخنات ومواسير توصيل الهواء اللافتح . وعموما يشمل الإصلاح أو التغير كل المعدات التي تدخل في تشغيل الفرن ، وتستغرق هذه التوقفات فترة تتراوح ما بين ٣٥ إلى ٤٥ يوما ، ويتم بمعدل مرة كل ٦ إلى ٧ سنوات .

وينظم هذه التوقفات جميعها ويحددها ، برنامج محدد وم معروف مقدما لدى جميع مسئولى

المصانع . يظهر في صورة خطة منسقة على مدار كامل ، محدد بها موعد وساعات التوقف ، والأعمال التي يجب أن تتم خلال التوقف ، والزمن الذي يستغرقه كل منها . بحيث تكون الصورة واضحة لجميع المنفذين ، وكذا لباقي العاملين بوحدات المصنع الأخرى ، حتى تتمكن هذه من القيام ببعض الصيانات اللازمة لمعدات التشغيل بها خلال نفس الفترة .
الخطوات الواجب اتباعها عند إيقاف الأفران العالية :

كما سبق ذكره ، تلازم توقف الأفران بمخاطر جسيمة ، منها احتمال حدوث انفجارات ، أو تسمم العاملين بغاز الأفران الخائض ، أو متاعب تكنولوجية . وللقضاء على كل احتمالات حدوث هذه الأخطار ، يرتبط العاملون بالأفران جميعهم ، بخطة عمل تكاد تكون موحدة على المستوى العالمي ، يمكن تلخيصها كالآتي :

١ - تحظر وحدات الأمن الصناعي ، والمرافق والغازات ، ومستهلكو غاز الفرن العالي ، والصيانات المركزية أو الملحقة ، بتوقف الفرن ، بمجرد البدء في الإعداد لصب الصبة الأخيرة ، حتى تتخذ كل منها - كل في مجال عمله - الاحتياطات اللازمة .

٢ - تتخذ الخطوات اللازمة لتفريغ الفرن من كل ما به من المعدن والخشب تماما قبل التوقف مباشرة ، ولزيادة التأكد يترك الفرن « بنفخ » - وهو التعبير الذي يطلق لوصف عملية خروج الغازات المحترقة من فتحة الحديد بعد انتهاء الصبة - لفترة زمنية كافية ، مع تحاشي خروج الكوك وتراكمه أمام فتحة الحديد .

٣ - تغلق فتحة الحديد بكية قليلة من الطينة الحرارية - أقل من المعدل العادي - وذلك لتسهيل عملية فتح الفرن عند إعادة التشغيل . وقد تزداد كمية الفحم في الطينة المستخدمة لنفس الغرض

٤ - يبدأ تدريجيا في تخفيض كمية هواء النفخ ، ويستمر ذلك حتى يصبح ضغط الهواء اللافتح مساويا ١,٢ جوى ويراقب مستوى الشحنة بالفرن ، وتعطى الأوامر ، وبوضوح ، بالامتناع نهائيا عن شحن أية شحنة ، وبالتالي يمنع فتح الأجراس نهائيا .

٥ - يبدأ في اتخاذ خطوات فصل الفرن عن شبكة غازات المصانع ، وذلك بإغلاق « بلف » مجمع الأتربة ، في نفس اللحظة التي تفتح فيه الهواية أعلى الفرن تدريجيا ، وفي تناسق تام بين القائمين بالعملتين .

٦ - تجهيز بعض الأفران العالية بفاصل بعد مجمع الأتربة والحلزونات ، عبارة عن خزان على شكل (U) يمكن ملؤه بالماء ، وذلك زيادة في احتياطات فصل الفرن المتوقف

عن شبكة الغازات ، وخوفاً من تهريب بلف مجمع الأثرية .
٧ - يفتح البخار في المناطق التي يتحمل فيها تكون خليط من الغازات القابلة للاشتعال والميئنة بالشكل ٤٢ ، وهي تحت الجرس الكبير ، وما بين الجرسين ، وأعلى مجمع الأثرية الشكل (٤٢) .

٨ - يحدد خلال نفس الوقت ، أى مبرد يحتمل وجود عطب به ، وذلك من خلال النظر داخل الفرن من منظار الودنة ، أو بمراقبة كمية مياه التبريد الخارجة منه ، (في العادة يصحب العطب خروج مياه التبريد متقطعة) ، وعليه تخفف مياه التبريد إلى أقل ما يمكن ، تمهيداً لحلمه واستبداله بمجرد التوقف .

٩ - تخفيض كمية الهواء الداخل تدريجياً ، ثم يمنع عن الفرن نهائياً .
١٠ - تفتح الأبواب الموجودة بكيمان النفخ ، وتغلق فتحات النفخ (بعد التأكد من سلامة المبرد والودنة بمراقبة الفحم أمامها) بكرات من الطينة الحرارية أما المعطوب منها ، فيتم تغيير مباشرة .

١١ - يتم الكشف على دورة تبريد الفرن في المستويات المختلفة ، وتحديد أى عطب بها لإصلاحه .

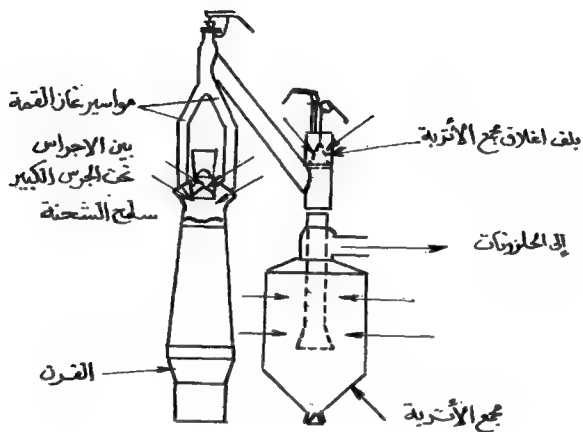
١٢ - بعد التوقف بحوالى ساعتين من توقف الفرن ، تخفض كمية مياه التبريد الخارجى لجسم الفرن ، وكذا للودنات والمبردات .

١٣ - لا يسمح بتشغيل مجموعات الصيانة ، إلا بعد التوقف التام الهادئ السليم للفرن ، وتصريح مسئول الأمن الصناعى بذلك .

٧ - إشعال الغاز أعلى الفرن :

تحاشيا لحدوث الانفجارات ، أو تسمم العاملين بسبب استنشاق الغاز عند إجراء صيانات بأجهزة الشحن أو بقمة الفرن ، يلجأ العاملون إلى إشعال الغاز أعلى الشحنة . ويجرى ذلك بإلقاء بعض الخشب الجاف ، أو الحرق المبلة بالشحومات والزيت والمازوت بداخل الفرن ، في الحيز الذى يعلو الشحنة . ولهذا تخفض كمية النفخ إلى أقل كمية ممكنة ، ثم تفتح بوابتان من بوابات الانفجار أعلى الفرن . تلك التى تواجه هبوط الريح وتلك العمودية عليه . وتلقى الحرق المبلة بالشحم والأخشاب الجافة من الباب الأول ، حتى يبدأ الغاز فى الاشتعال على سطح الشحنة .

ويجب اتخاذ الحذر الشديد ، عند القيام بهذا العمل ، لأنه كثيراً ما يصاحبه العديد من



شكل رقم ٤٢ - يبين أماكن فتح البخار عند توقف الفرن
منعاً لحدوث انفجارات

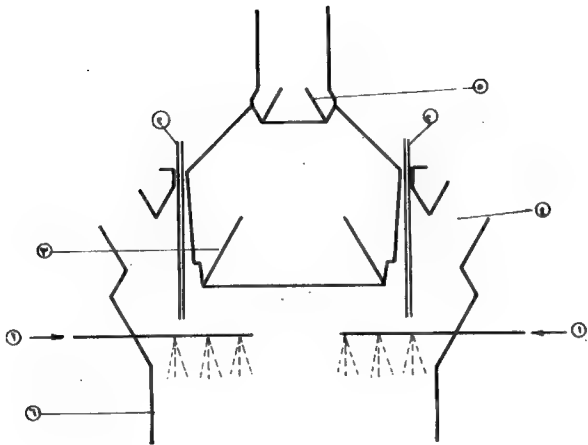
الانفجارات ، أو يصاحبه خروج اللهب من يوابات الانفجار ليصيب من يواجهه . ولهذا ، يقف المشتعلون بإشعال الغاز في وضع منحرف عن مواجهة البوابات ، في اتجاه مضاد لاتجاه هبوط الرياح ، وبالتالي اتجاه الغازات الناتجة . وعندما يطمئن العاملون إلى اشتعال الغاز بصفة مستمرة ، يتوقف النفخ تماما وتراقب الشعلة أعلى الشحنة ، وكيفية توزيعها على سطح الخامات . كما تراقب درجة حرارة الغاز أعلى الفرن ، حتى لا ترتفع هذه الى درجة عالية ، فتسبب أضرارا بأجهزة الشحن ، أو بأعلى القمة .

وبلاحظ في هذا النوع من توقفات الأفران ، عدم المساس بتكوين الشحنة الأصلية ، خلافا لإضافات قليلة من الكوك ، مع الامتناع عن شحن الإضافات الحديدية . ونادرا ما تخفض القاعدة ، ولكن مكونات الشحنة تظل كما هي ، وكذلك يظل مستوى الشحنة عند المستوى المحدد للتشغيل ، أو بمعنى آخر ، أن يكون الفرن مملوءا بشحنة أقرب ما تكون إلى الشحنة الأصلية . ويتبع هذا النوع من التوقف ، في حالة تغير أجهزة الشحن أو إصلاح عطب يستغرق وقتا لا يتعدى ثلاثة أيام .

وبعد توقف النفخ تماما ، والاطمئنان إلى تناسب الشعلة أعلى الشحنة ، يبدأ في إغلاق فتحات نفخ الهواء بالماسة ، وأحيانا تزال الودنات وودنات الخبث ويطلق مكانها بالماسة ، وذلك لمنع سحب الهواء من خلالها ، وخلال الشحنة إلى أعلى الفرن ، وبالتالي حرق الكوك الموجود بالشحنة ، وزيادة الجزء المنصهر من الخامات ، مما يسبب المتاعب عند إعادة التشغيل .

أما إذا زادت فترة التوقف عن ذلك ، ولمدد محدودة (أقصاها شهر) ، عند عدم الرغبة في الإنتاج لظروف أو لأخرى ، فيتم شحن الفرن بشحنة خفيفة ، وهي عبارة عن شحنة تحتوي الكوك بنسبة أعلى من المفروض ، وذات قاعدية منخفضة (٠,٦ إلى ٠,٨) .

وفي حالة ما إذا زاد زمن التوقف عن ذلك ، فيوقف الفرن باستخدام « شحنة عمياء » ، وهي عبارة عن كوك وما يلزمه من حجر جيري فقط ، ويوقف الفرن تمثلا بتمثل هذه الشحنة . كما يمكن في هذه الحالات ، أن يستمر تشغيل الفرن بشحنته الأصلية ، مضافا بأعلاها بضع شحنات من الكوك فقط ، ويتوقف شحن أية مشحونات مع استمرار النفخ ، حتى ينخفض مستوى الشحنة بالفرن إلى أعلى بقليل من مستوى الودنات . وفي هذه الحالة ، يجب اتخاذ كافة الإجراءات للتغلب على ارتفاع درجة حرارة الغازات الصاعدة ، باستخدام البخار أو ذئذ الماء الشكل (٤٣) . وتسمى هذه الطريقة «طريقة النفخ العميق



الشكل ٤٣- أماكن وضع أو شاس تبريد شحنة الفول

بالفرن .» وقد يغطى سطح الشحنة حينئذ بطبقة من الحجر الجيري ، تسبب زيادة نسبة غاز ثان أكسيد الكربون بالغازات المتولدة والصاعدة ، وبالتالي تقلل من احتمالات الانفجارات أو الاشتعال . هذا ، بالإضافة الى أن تحلل الحجر الجيري يحتاج إلى كميات كبيرة من الحرارة ، مما يخفف من درجة حرارة هذه الغازات . وقد تضاف طبقة من الحثب العصب ، فتعمل كعازل بين الشحنة والمحيط الذى يعلوها ، وبالتالي تعمل على الإقلال من الاتصال المباشر بينها .

كما تستخدم طريقة التفخ العميق هذه ، عند الرغبة في إجراء تجديد للطوب الحرارى للمخروط العلوى بالفرن ، أو عند الرغبة في التخلص من بعض الرواسب التى تجمعت على جدران الفرن في المناطق العليا منه .

ونظرا لأن عملية إضافة رذاذ الماء للتبريد ، يلزمها خطر حدوث انفجار ، إذا ما وجد الماء سبيلا إلى المناطق المرتفعة الحرارة بالفرن ، لهذا يراقب ضغط بخار الماء أعلى الفرن ، حتى لا يتعدى قيمة معينة . كما يضاف بعض الكوك الناعم الرطب ، ليملأ الفجوات بين المشحونات ، ويساعد على زيادة نسبة بخار الماء في المحيط أعلى سطح الشحنة ، مقللا بذلك احتمالات حدوث الانفجار .

وقد يحدث أحيانا ، عند الرغبة في توقف الأفران ، مع الرغبة في الإقلال من المخاطر ، أن يلجأ في حالة العمرات الشاملة ، وكما يحدث بالفرن الصالى رقم (١) بصنع الحديد والصلب بمجمهورية مصر العربية سنة ١٩٦٤ إلى توقف مملوء بشحنة من الكوك ، المبلل بالماء ليحفظ درجة حرارة الغازات الصاعدة أقل من ٤٠٠ إلى ٥٠٠°م .

وفي الحقيقة ، لا يمكن تفضيل إحدى الطرق عن الأخرى بالتحديد ، ولكن تتوقف الطريقة المستخدمة إلى حد بعيد ، على تفضيل وخبرة العاملين بالمصانع المختلفة .

٨ - سحب الحديد المتجمع أسفل بودقة الصهر :

مع استمرار تشقيل الفرن - وكما ذكر من قبل - يتجمع بأسفل الفرن كميات من المعدن المنصهر - نتيجة تآكل بطانة قاع بودقة الصهر - هذا بالإضافة إلى معدن الرصاص إن وجد أصلا بالمنشونات ، مكونة كمية كبيرة لا يستهان بها من المعدن . وعليه فعند إجراء العمرات الشاملة بالأفران ، يجب التخلص من هذه الكمية قبل البدء في تبريد شحنة التوقف بالماء ، حتى لا يتجمد المعدن بهذه المنطقة ، ويتسبب في مشاكل خطيرة للتخلص منه . لهذا تفتح فتحة جانبية في الجهة المقابلة لفتحة الحديد أو عموديا عليها ، وفي مستوى

منخفض عن مستواها ، وذلك باستخدام لب الأوكسيجين ، لتساقب منها هذه الكية من المعدن إلى صالة الصب الاحتياطية بجوار الفرن ، أو تنقل عن طريق مجارى خاصة ، إلى بواق توضع خصيصا لا ستقبالها . وقد بلغت هذه الكية فى بعض الأفران أكثر من ١٠٠٠ طن .

ويمكن تحديد مستوى الفتحة هذه واتجاهها - بصورة تقريبية - من خلال قراءات درجة حرارة مبانى القاعدة ، وقد ينجم نتيجة عدم سحب الكية كلها وتجمدها عند تبريد شحنة التوقف ، كتل ضخمة الشكل ، تحتاج إلى مجهود كبير فى إزالتها أو تفجيرها . كما حدث بالفرن الأول بمصانع الحديد والصلب . وحديثا يتم سحب هذا المعدن قبل توقف الفرن نهائيا . وتعتبر هذه آخر صبات الفرن يتوقف بعدها ، لبدأ تبريد شحنة التوقف ، بإضافة الماء خلال الأدشاش التى تم تركيبها بأعلى الفرن . وتجرى عملية التبريد فى بدايتها ، بكية محدودة من الماء ، تزداد تدريجيا بمرور الزمن . ويخرج البخار من فتحة المواجهة أعلى الفرن . ويجب الاهتمام التام فى هذه المرحلة ، بمراقبة حرارة الغازات أعلى الفرن ، مع تحاشى تسلى الماء إلى المناطق مرتفعة الحرارة ، ويجرى ذلك بمراقبة ضغط البخار أعلى الفرن . وهكذا ، وبالاتمرار فى إضافة الماء ، تبرد طبقات الشحنة الواحدة تلو الأخرى ، ويستمر ذلك حتى يبدأ الماء فى الظهور من الودنات ثم من فتحة الحديد . ويكون ذلك دليلا على إتمام عملية تبريد شحنة التوقف . وفى العادة ، يترك الماء ينساب لفترة أربع ساعات بعد ذلك احتياطيا .

وعندئذ يبدأ فى رفع جلب نفخ الهواء ومبرداتها ، ويبدأ فى سحب شحنة الفرن لتفريغه نهائيا ، تمهيدا لإعادة تبطينه . ولهذا تفتح بصاج الفرن عند فتحة الحديد ، فتحة تعمل من خلالها معدات نقل « اللودرات » لتفريغ المشحونات بسرعة .

وبفراغ الفرن من الشحنة الواقعة أعلى مستوى فتحة الحديد ، تفتح فتحة أخرى فى مستوى منخفض بمجدار الفرن فى الجهة المقابلة لموضع فتحة الخبث ، يبدأ منها فى تفريغ بقايا المشحونات ، ثم ناتج هدم بطانة قاع الفرن والطوب الحرارى وبقايا المعدن . وتزال كل طبقات الطوب الحرارى بالقاع ، حتى الوصول إلى الطوب السليم تماما . كما تستخدم هذه الفتحة فى إزالة مخلفات البطانة بأجزاء الفرن الأخرى . ويأتمام هدم وإزالة البطانة جميعها ، تغلق الفتحة تماما باللحام من الداخل والخارج ، ويبدأ فى تبطين الفرن بالبطانة الجديدة ،

ليبدأ القرن بعدها رحلة جديدة يتكرر بها كل ما ذكر مسبقا، وحتى نهايتها، وهكذا.
مراقبة تشغيل الأفران عن طريق الحديد والخبث الناتجين :

تتضافر جهود وخبرات العاملين بالأفران العالية، مع قراءات ودلالات وتسجيلات أجهزة القياس والتحكم التي سبق الحديث عنها، في تسير دفة العمل. وهما رغم أهميتهما القصوى، لا يعادلان ما يمكن الحصول عليه من مؤشرات عن طريق مراقبة الحديد والخبث الناتجين، وذلك أنها يمثلان نهاية العمليات والتفاعلات التي تمت بالفرن.

وفيا لى استعراض سريع لدى إمكانية مراقبة تشغيل الأفران عن طريق هذين المنتجين، بالإضافة إلى بعض المشاهدات الأخرى.

(أ) مراقبة عمليات الفرن عن طريق الخبث الناتج :

بالمراقبة الدائمة المتعاقبة لحالة الخبث الذي يتم الحصول عليه، سواء من فتحة الخبث العليا، أو مع صبات الفرن، يمكن الحكم على حالة التشغيل، وما ينتظر حدوثه خلال الساعات القادمة. ولهذا تؤخذ دوايا، في أثناء الصبات وعن طريق العاملين، عينات باستخدام « قضيب العينة » المثني بشكل زاوية قائمة، أنظر الشكل (٤٠). ويحظى قولم وشكل الخبث على قضيب العينة، العين الخيرة، وسيلة للحكم عن حالة الفرن، ودرجة الحرارة السائدة بمناطقه، وقاعدية الخبث، وهل الخبث قاعدي ويسمى « خبث قصير » وهو الذي ترفع فيه نسبة الجير والمغنيسيا عن نسبة المكونات الحمضية وهي السيليكا والألومينا، أو « خبث حامضي »، وهو ما يحوى عكوس هذه النسب ويسمى « الخبث الطويل ».

والخبث الحامضي ينساب بسهولة في مجاريه دوايا، حتى لو كانت درجة حرارته منخفضة. وعند غمس قضيب أخذ العينة في مثل هذا الخبث وتركه ليبرد، يوجد الخبث متماسكا بشكل أملس على السطح، وكثيرا ما تنساب منه شعيرات طويلة دقيقة، تزداد عددا وطولا بازدياد نسبة السيليكا في الخبث. ولهذا الخبث قوام زجاجي، ويتلون تبعا لدرجة حرارته، بألوان تتراوح ما بين البنى الفاتح، والأخضر والرصاصي الفاتح، والبنى الغامق، والأسود، كلما انخفضت درجة حرارته. وعليه فلو كان سطح العينة لامعا داكن اللون، ولا تنخرج منه هذا الشعيرات الدقيقة، قيل إن قاعدية الخبث ملائمة. أما درجة حرارته فأقل من المطلوب. وكذا إذا كانت عينة الخبث على القضيب بها فجوات صغيرة، ولونها فاتحا، قيل إن قاعدية الخبث ملائمة، وكذا درجة حرارة الفرن.

وهكذا يمكن بالربط بين المشاهدات وتحليلها، الحكم على حالة الفرن، وظروف التشغيل، ونوعية المعدن المنتظر الحصول عليه. ويمكن رفع درجة حرارة الخبث، برفع درجة حرارة الهواء اللاصق، أو بإضافة وقود في حالات البرودة الشديدة. كما تدل برودة الخبث المفاجئة على احتمال حدوث عطب ببعض معدات التبريد المستخدمة بالفرن، مثل مبردات ودنات النفخ، أو مبردات جلب الخبث، أو الجلب ذاتها، حيث أن كمية الحرارة اللازمة لتحلل الماء في هذه الحالة تكون كبيرة، بحيث أن الحرارة الفائضة في بودقة صهر الفرن، تصبح غير كافية، لمعالجة احتياجات الخبث لرفع حرارته.

أما الخبث القاعدي أو المسمى بالخبث القصير، فيكون خفيف السير في مجاريه، خاصة في حالة برودته، فيتجمد بسرعة، ويتراكم بها، مسببا الكثير من المضايقات والحوادث. ويظهر هذا الخبث بشكل غليظ غير لامع ومتراكم، على قضيب العينة. وفي هذه الحالة، يصعب إزالته من فوق القضيب، ومقطعه في هذه الحالة يحوى بلورات كبيرة.

ويتدرج لون هذا النوع من الخبث من اللون الأصفر الفاتح، إلى الفاتح، إلى اللون الأسود، كلما انخفضت درجة حرارته. وفي خلال سريان الخبث القاعدي ذى الحرارة المرتفعة، يكون فورا، مصحوبا برائحة خائقة تسبب الكحة - غاز ثاني أكسيد الكبريت - كما يظهر على سطح الخبث لهب أبيض.

وبالإضافة إلى إمكانية الحكم من خلال نوع ولون وكيفية سريان الخبث بالمجاري على ظروف التشغيل، فإن كمية الخبث المنتج أيضا مقارنا بالمفروض حسابيا الحصول عليه مع كل صبة، تعطى العاملين فرص الحكم على مدى فراغ الفرن خلال الصبة، وعن المنتظر في الصبات التالية.

ويعطى الخبث الناتج من فتحة الخبث، مقياسا لمستوى الحديد بالفرن، فإذا لازم خروج الخبث، خروج شرارات دالة على وجود المعدن به، دل ذلك على ارتفاع مستوى المعدن ببودقة الصهر، وضرورة اتخاذ اللازم لصب الفرن مباشرة. وفي هذه الحالة يجب إغلاق فتحة الخبث مباشرة. ويقال أحيانا إن الخبث «غير نقي»، وذلك عند ملاحظة أن الخبث الناتج - وعادة من فتحة الخبث العليا - يحوى نسبة من المعدن تظهر أولا في صورة شرارات متناثرة عند فتحة الخبث، ثم تظهر على سيخ الصبة في شكل حبيبات سوداء اللون متناثرة في الخبث، هي في الواقع أكسيد الحديدوز، ويكون لون الخبث في هذه الحالة داكنا يتدرج إلى اللون الأسود. بزيادة الأكسيد به. ويدل كل ذلك على عدم كفاءة الحرارة

بيودة الصهر. وإذا حدث ذلك فجأة، وبدون مقدمات، دل ذلك على حدوث عطب مفاجيء بإحدى المبردات، وبالتالي تسرب الماء إلى الفرن، وضرورة اتخاذ التدابير اللازمة لتغير الجزء المطلوب وبسرعة.

وعموما يذكر العاملون بالأفران في بلاد العالم أجمع، مثلهم الذى يقول ما معناه، « إن على العاملين بالأفران، العناية بالخبث وتكوينه ومواصفاته، الخ. حيث أن الحديد سوف يعنى بنفسه، ولن يحتاج إلى عنايتهم حينئذ ».

(ب) مراقبة الفرن عن طريق الحديد الناتج :

تعتمد نسب وجود السيليكون، والمنجنيز، والكبريت في الحديد الزهر، إلى حد كبير على درجة الحرارة بالفرن، وكذا على خواص الخبث المنتج. هذا بالإضافة إلى نسب وجودها في الشحنة الأصلية للفرن. وعليه، فبمتابعة تحليل الحديد الزهر المنتج، يمكن الحكم على حالة الفرن عامة، ودرجة الحرارة بصفة خاصة. وكذا الحكم على مدى مطابقة الخبث وخواصه. فثلا، إذا ظهر بمقطع عينة من حديد توماس، سطح فضى اللون، يحوى نقاشا لامعة متناسقة التوزيع، كان ذلك دليلا على أن درجة حرارة وقاعدية الخبث ملائمان تماما لمتطلبات التشغيل. وإذا كان سطح العينة الملامس لسطح قالب العينة أملسا غير حاد لأى تنوعات به، كان ذلك دليلا على انخفاض نسبة الكبريت في المعدن، وبالتالي مناسبة قاعدية الخبث. أما إذا ظهرت بمقطع العينة زيادة في الأسطح اللامعة، وعدم تناسق في توزيعها، كان ذلك دليلا على زيادة نسبة المنجنيز في المعدن، وبالتالي ارتفاع درجة حرارة الفرن، وقاعدية الخبث عن المطلوب، الأمر الذى يساعد على سرعة اختزال أكاسيد المنجنيز، وعلى زيادة ذوبان المنجنيز في المعدن.

أما إذا ظهرت بمقطع العينة نقاط رمادية اللون، أو سوداء، تغطى على المقطع كله، كان ذلك دليلا على ارتفاع كبير في درجة الحرارة، أو انخفاض قاعدية الخبث المستعمل. ذلك أن هذا المقطع الرمادى الأسود اللون، دليل على زيادة نسبة السيليكون بالمعدن، والذى تزداد نسبته تحت الظروف المذكورة. وبذوبان هذا السيليكون في الحديد، وعند تبريد العينة في قالبها، يتسبب السيليكون في انفصال كربون الحديد الزهر على هيئة جرافيت، يتسبب في إعطاء المعدن هذا اللون الأسود أو الرمادى. وعليه فباستخدام قاعدية مناسبة للخبث، ويرفع درجة الحرارة بالفرن، ويزيادة كمية الكوكب المخصصة للتسخين، يمكن الحصول على الفيروسليكون أو الحديد المصبوب، اللذين يحويان نسبة عالية من السيليكون.

وإذا ظهرت على سطح العينة الملامس للقالب نتوءات أو فجوات ، كان ذلك دليلا على ارتفاع نسبة الكبريت بالمعدن ، ذلك أن الكبريت عند وجوده بنسبة عالية بالحديد ، يتحول جزء منه إلى الحالة الفازية ، مكونا فقاعات على سطح تلامس العينة والقالب ، وهذه تتفتح خلال فترة التبريد ، مكونة هذه النتوءات أو الفجوات . وتعتبر زيادة الكبريت عادة ، مقياسا لعدم مناسبة قاعدية الخبث المستخدم ، أو لانخفاض درجة حرارة الفرن .

أما إذا كان مقطع العينة مطفيا دون أى لمعان فيه ، كان ذلك دليلا على انخفاض كبير بدرجة حرارة الفرن ، مما يستدعى سرعة اتخاذ إجراءات التقلب على هذه الحالة من إضافة للكوك ، أو رفع لدرجة حرارة الهواء اللافح ، أو خفض لمعدل النفخ ، الخ .

وتؤخذ عينة الحديد بواسطة ملعقة خاصة من الصلب أو الحديد الهياتيقي ، انظر الشكل ٨١ ، وذلك بغمس طرفها في المعدن المناسب في المجارى تحتل به ، ثم تصب في قالب العينة المصنوع من الحديد الزهر أو الصلب ، حيث تترك لتبرد . ولما كانت تحاليل المعدن تختلف من صبة لأخرى ، بل وفي خلال الصبة الواحدة ، لذا تجمع العينات جميعها ، ليختار منها لملاحظ الفرن العينة الممتلئة التى ترسل للتحليل الكيميائي .

وهو في خلال تتبعه للعينات المأخوذة ، يتمكن من الحكم على حالة الفرن عامة ، ويقارن بين أول الصبة ونهايتها ، وبالتالي متاح له فرصة للحكم الدقيق ، وبخبرته يمكنه اتخاذ اللازم من إجراءات ، للمحافظة على جودة المعدن ومطابقته للمواصفات المطلوبة .

ومما يتقدم يتضح مدى ما تقدمه عينات الخبث والحديد من إمكانيات للحكم على جودة المعدن الناتج أولا ، وعلى حالة الفرن ثانيا .

(ج) مراقبة الفرن عن طريق بعض المشاهدات الأخرى :

مما هو جدير بالذكر ، أن كل ماذكر أنفا ، ليس هو الطريق الوحيد للتعرف على حالة الفرن ، فهناك العديد من أجهزة القياس وشواهد التشغيل ، التى ذكر بعضها من قبل ، وتعرض للباقي في الحديث القادم وهى تسهم في إعطاء الصورة الواضحة وتكمل مستلزمات الرقابة . من هذه الشواهد مثلا ، مراقبة سير المعدن في المجارى ، فإذا كان سطح المعدن في مجاريه مطفيا مصحوبا بتأثير ذرات لامة ، كان ذلك دليلا على انخفاض درجة حرارة المعدن والفرن ، مما أدى إلى انخفاض نسبة السيليكون بالمعدن . وفي هذه الحالة ، تتكون على سطح المجارى بقايا من المعدن ، ويكون سيره في المجارى بطيئا ، ويسحب معه رمل المسابك المبطن للمجارى ، وعند نهاية الصبة تتخلف كريات كبيرة من الحديد بالمجارى يطلق عليها اسم

«تاسيح». أما إذا قلت الفترات اللازمة المتأثرة، كان ذلك دليلا على ملائمة درجة حرارة الفرن، وارتفاع درجة حرارة المعدن، وبالتالي تختفي كل الظواهر المذكورة آنفا، وتتخلف بالمجاري في نهاية الصبة، كميات محدودة من التاسيح.

ويتيح لون اللهب الخارج من فتحة الحديد عند نهاية الصبات، فرصة للعاملين بالأفران للحكم على درجة حرارة الفرن. فإذا كان لون اللهب داكنا مصحوبا بدخان كثيف، كان ذلك دليلا على انخفاض درجة حرارة بودقة الصهر. أما إذا كان لون اللهب فاتحا ومصحوبا بقليل من الدخان الفاتح، كان ذلك دليلا على ملائمة درجة الحرارة بالفرن.

متاعب التشغيل بالأفران العالية

بتعرض تشغيل الأفران العالية، للعديد من المتاعب التي تتفاوت في مدى تأثيرها الضار على رتبة وانتظام التشغيل، والتي تؤدي إلى توقف العمل بالفرن نهائيا. ونظرا لطبيعة عمليات الأفران العالية، بالإضافة إلى اختلاف طبيعة الفرد، ومدى تجاوبه وظروف التشغيل المحيطة، فإن هذه المتاعب تتمدد وتباين، ويطول الحديث عنها. ولهذا فسنقتصر العرض فيما هو آت، على تلك المتاعب ذات الأثر الأكبر خطورة على سلامة التشغيل، وعلى المعدات.

١ - برودة الفرن عامة - نجمد محتويات بودقة الصهر:

تتمدد وتختلف الأسباب التي تسبب هذه الظاهرة، والتي تتأق من اختلال الميزان الحراري بالفرن، بمعنى عدم توافر كميات الحرارة المقابلة لاحتياجات مجموعة التفاعلات التي تتم بها. وبالتالي توصف هذه المسببات، بأنها أي مؤثر يؤدي إلى عدم توفير الحرارة اللازمة لإتمام هذه التفاعلات، وصهر المنتجات، وجعلها في حالة السيولة التي تمكن من إخراجها من فتحات الحديد أو الخبث. وعليه يتضح أن مدى تعرض الأفران صغيرة الحجم ذات الكمية المحدودة من الطاقة الحرارية المختزنة لهذا النوع من متاعب التشغيل، أكثر من مدى تعرض الأفران الكبيرة ذات الطاقات الهائلة من الحرارة المختزنة.

وهناك العديد من المشاهدات التي يمكن بها التعرف على مثل هذا النوع من متاعب التشغيل، والتي يمكن تلخيصها كالآتي:

(أ) بمراقبة القرن من خلال نظارات الودنات ، يلاحظ أن المنطقة عند نهاية الودنة ، تفقد لمعانها الصافي الوضاء ، الذى يتحول إلى لون معتم يتخلله سقوط أجسام داكنة غلزجة ، تتراكم على مقعدة الودنة ، وتلف محيطها الخارجى ، وربما ينساب قليل من الخبث من فتحة الودنة الى ماسورة النفخ .

(ب) عند فتحة الخبث ، يخرج الخبث قليلا في حركته ، داكن اللون ، تتطاير منه أجسام لامة ، دلالة على وجود الحديد به بكية أكبر من المعدل . ويكون ذلك اللون الرمادى الداكن ، وأحيانا الأسود ، دليلا على زيادة نسبة أكسيد الحديدوز الذى لم يتم اختزاله ، لعدم توافر الحرارة اللازمة ، وحينئذ يجب فتح فتحة الحديد مباشرة لصب ما ببودة الصهر من الخبث والمعدن قبل استفعال الأمر .

(ج) يلاحظ أن الحديد الخارج من الصبة ، يسير بصعوبة في الجارى الخاصة به ، كما يتجمد بسرعة على جوانبها ، ذلك أن تزايد كمية أكسيد الحديدوز ، يؤدى إلى انخفاض نسبة الكربون والسيليكون والمنجنيز بالحديد نتيجة التفاعل بينها ، التى تؤدى إلى زيادة نسبة نقاء المعدن ، وبالتالي ارتفاع درجة انصهاره وزيادة نسبة الكبريت به .

(د) يتزايد عدد الشحنات لفترة زمنية معينة عن المعدل العادى .

(هـ) ينخفض ضغط الغاز وضغط الهواء اللاصق عن معدلهما . وإذا استعرضنا الأسباب التى تؤدى إلى ذلك ، فيمكن تحديدها فيما يلى :

(أ) سوء توزيع المشحنات على مقطع القرن لسبب أو لآخر ، مثل خلل بمعدات الشحن ، أو عدم تجانس الشحنات ، الخ .

(ب) إضافة شحنات من الخامات دون إضافة الكوك المقابل لها ، بسبب أخطاء العاملين بالشحن .

(ج) إضافة الشحنات بسرعة .

(د) انخفاض جودة الكوك وخواصه ، أو اختلاف خواص أو تحاليل الإضافات .

(هـ) سقوط رواسب سبق تكوينها .

(و) انخفاض درجة حرارة الهواء اللاصق عن المعدل ولفترة طويلة .

(ز) تسرب المياه لداخل القرن من معدات التبريد .

وفي حالات البرودة الطارئة ، يمكن بزيادة درجة حرارة الهواء اللاصق ، مع خفض معدل

التفخ، معالجة هذا النقص الطارىء، وإعادة الفرن إلى التشغيل العادى .
أما إذا تفاقم الموقف، ولم تجد وسائل العلاج السريع، بحيث تماسك المعدن والخبث الموجودان ببودة الصهر، ولم يتمكن من الحصول عليها من فتحة الحديد، فهذا ما يسمى بظاهرة « تجمد ببودة الصهر »، وهى من أخطر مشاكل الأفران العالية وأصعبها، وقد تؤدى الى توقف الفرن تماما عن العمل، إذ يستتبع عدم إمكانية الحصول على الخبث والمعدن من الفرن عندئذ، ارتفاع مستواهما بداخله، حتى يبلغا مستوى الودنات، ويقلقا مداخل الهواء اللائح، وبالتالي يتوقف الفرن نهائيا عن التشغيل .

ويتلخص علاج هذا الموقف، فى البحث عن وسيلة لرفع الطاقة الحرارية ببودة الصهر، وذلك عن طريق توصيل شحنات إضافية من الكوك للمنطقة . هذا بالإضافة إلى ضرورة تخفيض الحمل الحرارى ببودة الصهر، وذلك بزيادة سيولة الخبث، وبالتالي الإقلال من الحرارة اللازمة لذلك . ويتبع لتحقيق ذلك العديد من الطرق حسب الخبرات الخاصة، ومنها الأسلوب الذى أتبع بمصانع الحديد والصلب بملوان، والذى يتلخص فيما يلى :
(أ) التعرف تماما على سبب العطب، والقضاء عليه تماما، وخاصة فى حالة عطب المردات، ثم التأكد من سلامة كل معدات التبريد الأخرى .

(ب) خلع الودنتين على جانبي فتحة الحديد وتنظيفها، ورفع كل الخبث والحديد من أمامها، لعمل اتصال صناعى بينها وبين فتحة الحديد .
(ج) العمل من خلال فتحة الحديد، على إزالة ما أمامها من الخبث والمعدن المتجمدين، وإزالة ما يتم صهره بالأكسجين من خلال الودنتين المذكورتين، والمساعدة فى خلق الاتصال بين الودنتين وفتحة الحديد .

(د) إعادة تشغيل الفرن، بعد التأكد من وجود الاتصال بين الودنتين المذكورتين وبين فتحة الحديد، بكمية محدودة من الهواء اللائح خلال الودنتين، مع استمرار مراقبتها، وتنظيفها، مما يستدعى عادة التشغيل والتوقف لمرات عديدة، حتى يتم التخلص مما يعلوها من الخبث والمعدن المتجمدين .

(هـ) مع بدء التشغيل، تضاف كميات إضافية من الكوك بأعلى الفرن، كما تضاف كميات أخرى قبل التشغيل وفى الحيز أمام الودنات التى تم تنظيفها، كذلك تشحن الإضافات التى تسبب سهولة إسالة الخبث كالفلورسيار والماغنيزيا . ويتبع نظام الشحنات الخفيفة ذات القاعدة المنخفضة . ويصبح بعد ذلك من أهم واجبات

الماملين ، توصيل هذا الكوك المضاف من أعلى الفرن ، إلى بودقة الصهر بأسرع ما يكون ، ويساعد تشغيل الفرن خلال الودنتين المذكورتين في ذلك ، حيث يصبح تشغيل الفرن من جانب واحد منه ، وبالتالي اختصار الحجم العامل ، ومن ثم سرعة الشحنات المضافة من أعلى الفرن ووصولها إلى بودقة الصهر .

(و) يستدعى هذا النوع من التشغيل ، ضرورة إحكام إغلاق باقى الودنات ، وخاصة البعيدة عن فتحة الحديد ، حتى لا يتسبب ذلك في تكوين خبث وحديد في مكان ليس له اتصال بفتحة الفرن ، وبالتالي زيادة متاعب التشغيل .

(ز) تزداد درجة حرارة الهواء اللاصق عن المعدل ، ولكن بمحذر شديد ، بحيث لا تتسبب زيادتها في تعليق الشحنة بداخل الفرن ، وبالتالي إضافة متاعب جديدة للتشغيل ، الأمر الذى يجب تجنبه في هذا الوقت .

(ح) يستمر العمل دوماً من خلال فتحة الحديد في إزالة كل ما يتم انصهاره من خبث ومعادن ، طوال عملية النفخ من خلال الودنتين ، ويستمر ذلك حتى يبدأ اللهب في الخروج منها وبشدة ، فتغلق مؤقتاً ليعاد فتحها بعد ساعة على الأكثر ، لسحب ما يتم صهره من المعدن والخبث أولاً بأول . وهكذا ، حتى تبدأ كميات الحديد والخبث المنتجين في التزايد . ثم يبدأ بعد ذلك في فتح الودنات من على جانبي فتحة الحديد تباعاً وبالترتيب ، مع زيادة كمية الهواء تدريجياً ، وزيادة القاعدية التى سبق خفضها مع بدء الشحن للشحنات الخاصة للتقلب على الموقف . ويستمر هذا العمل والرقابة الدقيقة حتى عودة الفرن لحالته الطبيعية . ويستغرق هذا العمل بالأفران ذات الحجم ٤٩٩ متراً مكعباً ما بين ٦ و ٩ أيام .

والنفخ بمعدلات منخفضة ، إجراء يلزم اتباعه في هذه الحالة كضرورة حتمية ، وذلك لأسباب عديدة أهمها :

- ١ - إتاحة الفرصة لتجهيز أفضل للشحنات الهابطة ببطء في هذه الحالة .
- ٢ - ضمان استمرار المحافظة على درجة الحرارة للهواء اللاصق العالية والمطلوبة لفترات زمنية أطول .
- ٣ - إتاحة الوقت للتخلص من مخلفات الصبات السابقة ، والتجهيز للصبة اللاحقة ، قبل أن يصل مستوى المنصهر من المعدن والخبث لمستوى الودنات ويطلقها - خاصة وأن الحيز المتاح في هذه الحالة يكون صغيراً - وبالتالي يوقف استمرار النفخ والتشغيل ، وهو

الأمر الحيوى الضرورى استمراره فى هذه المرحلة .

٤ - تخفيض الحمل الحرارى لبودقة الصهر . بالإقلال من تكون أكسيد المعدن أمام الودنات ، والنزى يحتاج بعدئذ إلى حرارة عالية ، لإعادة اختزاله اختزالا مباشرا ببودقة الصهر .

وكما سبق ذكره ، تختلف طريقة معالجة العطب باختلاف الخبرات الخاصة والإمكانات ، وقد يستلزم الأمر إغلاق الودنات جميعها ، ماعدا إحداها ، تستخدم كفتحة للحديد والخبث ، بينا يزود الفرن عندئذ بمجموعة ودنات نفخ ، تركب بمستوى أعلى من مستوى الودنات الأصل . وبالنفخ من خلالها ، وسحب المنصهر من فتحة الودنة ، يمكن تحقيق الهدف الرئيسى ، وهو توصيل الكوك إلى بودقة الصهر ، وبالتالي زيادة الطاقة الحرارية بها . وتحقيق ذلك ، يعاد التشغيل بعدئذ من الودنات الأصلية ، وتغلق الودنات الإضافية نهائيا .

(ب) تعليق الشحنة بداخل الفرن :

قد يحدث أحيانا أن يظل مستوى شحنة الفرن ثابتا لفترة زمنية أكثر من المعتاد . دليلا على عدم هبوط الشحنة داخل الفرن ، وتسمى هذه الظاهرة « تعليق شحنة الفرن » . وقد يمكن التغلب على هذه الظاهرة بسهولة وبسرعة ، وقد يستلزم ذلك العديد من الساعات . وتعليق شحنة الفرن لا يحدث فجأة ، ولكن تسبقه مقدمات ومشاهدات تدل على اتجاه الشحنة إلى التعليق . فتلا يبدأ هبوط الشحنة فى عدم الانتظام ، ويلزم ذلك انزلاقات للشحنة بداخل الفرن . ويمكن التعرف على ذلك ، بمراقبة حركة المحبسات ، هذا بالإضافة إلى حدوث ذبذبة فى ضغط الغاز ، وضغط الهواء اللافتح ، الأشكال »

وحق هذه المرحلة ، يمكن وبسهولة معالجة الموقف ، وإعادة التشغيل إلى الانتظام ، أما إذا لم ينته العاملون إلى ذلك فى حينه ، ولم تتخذ إجراءات التغلب عليه ، فتبدأ الشحنة فى الامتناع عن الهبوط نهائيا . ويلاحظ ثبات مستوى الشحنة بداخل الفرن ، بالإضافة إلى زيادة ضغط الهواء اللافتح ، وانخفاض ضغط الغاز ، مع ارتفاع درجة حرارته . وبالنظر خلال منظار الودنات ، يلاحظ ثبات الكوك داخل الفرن ، وامتناع حركته ، كما يمكن مشاهدة بعض قطرات الخبث والمعدن ، تتساقط ببطء على سطح الكوك . وفى حالة تعليق الشحنة ، يسمع بوضوح ، الصوت الناجم عن تهريب الهواء اللافتح من توصيلات الكيعان وماسورة النفخ ، وتبدأ كمية الهواء الداخلة إلى الفرن ، والمسجلة بجهاز الكية ، فى الانخفاض تدريجيا ، كدليل على تعليق الشحنة بداخل الفرن .

. وتعدد المسببات التي تؤدي الى حدوث هذا النوع من متاعب التشغيل ، وقد تتكاثف فيما بينها . ونذكر فيما يلي أهمها :

١ - تماسك الشحنات :

تتعرض مشحونات الفرن العالي خلال هبوطها بالفرن - كما ذكر من قبل - للعديد من التغيرات الفيزيكية والكيميائية ، التي تؤثر في خواصها الأصلية ، وتؤدي إلى زيادة حجمها وتماسكها فيما بينها . هذا ، بالإضافة إلى زيادة مساميتها ، نتيجة تخلصها من المواد المتطايرة بها ، وبالتالي إتاحة الفرصة لترسيب الكربون ناتج التفاعل

غاز أول أكسيد الكربون — غاز ثاني أكسيد الكربون + الكربون



في هذه المسام ، وما يسببه بالتالي من زيادة لأحجام المشحونات . وحيث أن درجة حرارة هذه المشحونات تزايد باستمرار هبوطها ، فإن لداتها تزايد أيضا ، ومع زيادة أحجامها وضغطها بعضها على بعض ، تماسك فيما بينها . كما تماسك المشحونات بنفس الأسلوب مع جدار الفرن ، مكونة جسما صلبا ، يتحمل وزن عامود الشحنة أعلاه ، ويمنع هبوطه ، وبالتالي تتعلق الشحنة بداخل الفرن .

٢ - وجود رواسب بالفرن العالي :

تتكون رواسب بالفرن لسبب أو لآخر - كما سيذكر فيما بعد - وهي بوضعها وطبيعتها تكوينها ، تكون قاعدة يمكن بسهولة ارتكاز شحنة الفرن عليها ، خاصة إذا ما تسببت هذه الرواسب في الإقلال من قطر مقطع الفرن ، وكونت فتحة تقع تهبط منها الشحنات ، وسببت بذلك زيادة المقاومة لصعود عامود الغازات ، وبالتالي زيادة قدرته على حمل الشحنة ، وبالتالي تعليقها .

٣ - خفض مقطع منطقة احتراق الكوك :

وسبب هذا زيادة المقاومة لهبوط الشحنة ، وبالتالي زيادة الاحتكاك بين المشحونات الهابطة والمشحونات الموجودة بهذا المكان من الفرن . هذا بالإضافة إلى تكس المشحونات الهابطة ، وانخفاض مساميتها في المنطقة التي تملأ منطقة احتراق الكوك مباشرة ، الأمر الذي يسبب زيادة المقاومة لعمود الغازات الصاعدة ، وبالتالي زيادة ضغطها وقدرتها على حمل الشحنة ، ومن ثم مقاومة هبوطها . وفي العادة ، تتوقف مسامية الشحنة على مدى تجانس

أحجام مكوناتها، ولهذا السبب وغيره. أصبحت عملية تجنيس المشحونات باللغة الأهمية.

٤ - طبيعة الحث المتكون :

يحدث نتيجة ارتفاع درجة الحرارة بالفرن عامة لسبب أو لآخر، أو بسبب تركيز استقلال درجة الحرارة ببودة الصهر بالفرن بسبب زيادة الاختزال المباشر، أن يتكون بالمفروض العلوى أو بالأسطوانة، حث متاسك لزج - خاصة في حالات التشغيل بقاعدية عالية - يتاسك وجوانب الفرن، ويولد مقاومة عالية لمرور الغازات الصاعدة، وبالتالي يزيد من قدرتها على التحمل، ومقاومتها لهبوط الشحنة.

كما يحدث أحيانا تكون حث يحتوى على نسبة عالية من أكسيد الحديد، ويحدث ذلك نتيجة تجمع كمية من خام الحديد، تعرضت من قبل إلى اختزال نسبي فقط، نتيجة لانخفاض مسابقتها، وهبوطها لمنطقة الحرارة العالية (1000°C) حيث تنصهر مكونة حثا يحوى نسبة عالية من أكسيد الحديدوز، بل وأحيانا أكسيد الحديد المغناطيسي. وعندما يلتق هذا الحث مع الكوك المتوهج في المنطقة، يبدأ كربون الكوك في اختزال الأكسيد اختزالا مباشرا، مستهلكا كميات كبيرة من الحرارة، ومسببا انخفاض درجة حرارة المنطقة، ويلزم ذلك، رفع درجة حرارة بدء سيولة الحث الناتج الذى تخلص جزئيا من أكاسيد المعدن، وبالتالي يوجد هذا الحث في حالة لزجة متاسكة، معرضا لصعود الغازات، ومسببا تعليق الشحنة.

٥ - الخواص الطبيعية والكيميائية للغامات المستخدمة وخاصة الصلابة والتماسك تحت درجات الحرارة العالية

هذا بالإضافة إلى قيمة درجة حرارة بدء انصهارها. ذلك أن تفكك الغامات يسبب مقاومتها للغازات الصاعدة. ويكون ذلك داعيا لتماسكها بعضها ببعض، في مناطق الحرارة المنخفضة نسبيا، وبالتالي تجمعها وصعوبة هبوطها وتعليقها.

٦ - مجموعة المؤثرات التى تتجمع وتؤدى إلى ارتفاع منطقة أو مستوى بدء تكوين الحث. كيفية التغلب على تعليق شحنة الفرن :

كما سبق ذكره، يتضح أن تعليق شحنة الفرن إنما يحدث نتيجة مجموعة عوامل تتجمع وتسبب زيادة المقاومة لصعود الغازات الصاعدة، وتعمل على منع هبوط عامود الشحنات. وعليه، فأى إجراء يؤدى إلى التخفيف ثم القضاء على هذه التجمعات، يكون من شأنه

المساعدة على التغلب على هذا النوع من المتاعب . ويحوى ذلك عادة عن طريق ما يسمى « سحب الفرن » ، والذي يتلخص فى الإقلال من الغازات الصاعدة ، وبالتالي إقلال قدرتها على التحمل ، والذي يتم بفتح صمام الأمان على ماسورة الهواء الساخن الداخلة إلى الفرن فجأة وبسرعة . وعادة ما يؤدى هذا الإجراء إلى تكسر القشرة المتاسكة المغلفة لسطح الشحنة فى منطقة التعليق ، بسبب زيادة التحميل عليها من أعلى ، نتيجة وزن المشحونات التى تعمل المنطقة ، وبالتالي فك التعليق . ولكى يكون هذا الإجراء فعالا ، يجب أن يتم فجأة وبسرعة ، حتى يؤدى الغرض منه فى خلخلة منطقة التعليق . ولهذا وحسب لا يترتب على هذا الهبوط المفاجئ لكىة الهواء اللائح أضرار بمنطقة المسخنات أو بنفاخات الهواء ، أو بشبكة الغازات ، يتم الاتصال بين ملاحظ الفرن والمسؤولين بهذه المناطق ، لتتسيق العمل فيما بينهم . ولا يجب أن تخفض كمية الهواء اللائح عن الكىة المقابلة لضغط يعادل اراجوى ، حتى لا تتاح الفرصة للغازات بداخل الفرن ، للهروب من خلال توصيلات النفخ إلى مواسير الهواء الساخن ، تحاشيا لحدوث أى انفجارات بالأخيرة .

أما إذا لم يؤد هذا الإجراء إلى إزالة التعليق ، فيستمر النفخ مع تخفيض درجة حرارة الهواء اللائح ، وذلك حتى يتغير شكل منطقة الأكسدة أمام الودنات ، حيث أن ذلك يسبب زيادة تركيزها فى الاتجاه الأفقى ، وذلك بسبب ارتفاع مستوى منطقة درجات الحرارة العالية بالفرن إلى أعلى . وبالتالي التمكن من إسالة الحث الذى يغطى سطح قطع الكوك ويربط بينها ، ويسبب عدم هبوطها .

أما إذا لم تؤد كل المحاولات السابقة إلى النتيجة المطلوبة ، فتفتح فتحة الحديد وفتحة الحث ، ثم يترك الفرن للنفخ من خلالها ، الأمر الذى يؤدى إلى احتراق الكوك الموجود بالمنطقة ، وبالتالي إفساح المكان للمشحونات الأخرى أعلاها للهبوط . كما يساعد الهواء المنفوخ ، والغازات المتولدة ، فى احتراق الكوك الموجود فى القبة الحاملة لعمود المسخنات . ونتيجة لهذا الاحتراق ، ترتفع درجة الحرارة بالقبة . الأمر الذى يؤدى إلى سهولة الحث الذى يسبب تماسكها ، وبالتالي إزالة التعليق . وقد يستغرق النفخ خلال فتحى الحديد والحث ساعات طويلة ، حتى يأتى بالنتيجة المطلوبة .

وكثيرا ما يتكرر حدوث التعليق بعد إزالته ، فواجب العاملين بالأفران ، يتطلب منهم حسن التصرف عقب التغلب على المشكلة . فثلا يجب أن ترفع كمية الهواء اللائح ، أو درجة حرارته إلى معدلها فى التشغيل العادى فجأة . كما يجب أن لا يملأ الفراغ الناجم أعلى

الفرن بشحنات متتالية وبسرعة، إلخ. ولكن يتم ذلك تدريجاً، وحسب ما تدل عليه أجهزة القياس والمتابعة للفرن، عن مدى استعادة الفرن لحالته العادية.

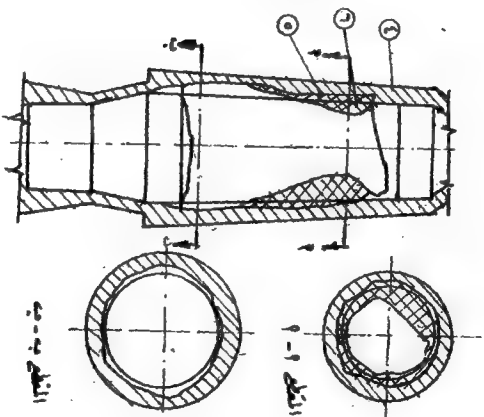
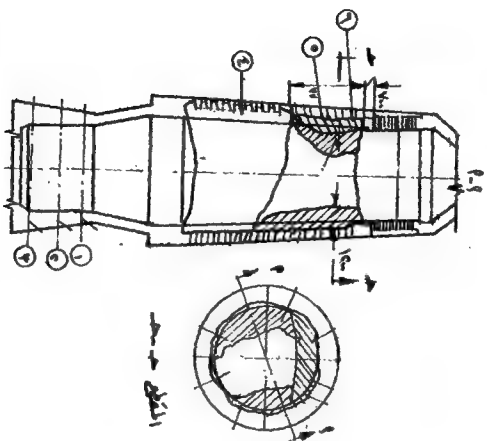
(ج) تكون الرواسب:

يحدث أن تتجمع المواد التي بدأ انصهارها ولم يكتمل تماماً بصورة متساوية وقوية، على جدران الفرن وبمناطق مختلفة به، معترضة سير عامود الغازات الصاعد وعمود الشحنات الهابطة، وتسمى هذه «الرواسب». وقد توجد بالأسطوانة، أو بالجزء السفلي، أو بمنتصف الظروف العلوى، الشكل (٤٤)، وفي هذه الحالة تتسبب بقوة وشدة، بحيث لا يمكن إزالتها بالتصغير في تكنولوجية التشغيل فقط.

وقد يتكون بعض منها بالظروف السفلى، وخاصة عندما تحوى الشحنة الأصلية للفرن خامات سهلة الانصهار، تتمكن من الوصول إلى هذه المنطقة، حيث تبدأ في السيولة، لتتص جزءاً كبيراً من الطاقة الحرارية من المنطقة، مكونة خبثاً يحوى نسبة عالية من أكاسيد الحديد، لم يتم اختزالها بعد، وهذه الأكاسيد تتعرض نسبياً إلى اختزال مباشر بفعل كربون الكوك الموجود بالمنطقة، مكوناً المعدن الذى يحوى نسبياً بسيطة من الشوائب، وبالتالي ترتفع درجة حرارة بدء سيولته، فيتجمد بمجرد تكوينه، مساعداً في تقوية الرواسب المتكونة. وهذا النوع من الرواسب، يسهل التخلص منه، بتغير في تكنولوجية التشغيل، بما يقضى على أسباب تكوينه.

وجود الرواسب له أثر كبير في انتظام ورتابة التشغيل بالأفران العالية، لأنها تسبب تعليق شحنة الفرن، مع استهلاك المزيد من الكوك والوقود، وخفض الإنتاجية. وتسبب كذلك في زيادة كميات أتربة الغازات، وغيرها من المؤثرات التى تؤدى إلى عدم إمكانية السيطرة على الأفران، والتحكم في خواص المعدن المنتج.

وتتكون الرواسب بالأفران العالية نتيجة لعدم انتظام توزيع الغازات الصاعدة على مقطع الفرن، فعندما تتصاعد كميات كبيرة من هذه الغازات بسرعة عالية، ملازمة لجدران الفرن، أو بالمنطقة القريبة منها، نتيجة لزيادة مسامية الشحنات بهذه المناطق، يتسبب ذلك في ارتفاع درجة الحرارة في المستويات العليا عن القيمة العادية، مما يؤدى إلى انصهار بعض مكونات الشحنة قبل اختزالها. وعند زيادة المقاومة للغازات الصاعدة، نتيجة لذلك، وتغير اتجاهها، تبدأ المكونات المنصهرة في التجمد، وتتسبب مع ميان بطانة الفرن، مكونة بذلك بؤرة لتكون الرواسب، يتجمع الكوك تحتها نتيجة إزاحة الحام له. وعليه



شك ٤٤- رؤس سبب الفروق المعاكس بالخصائص العلوي

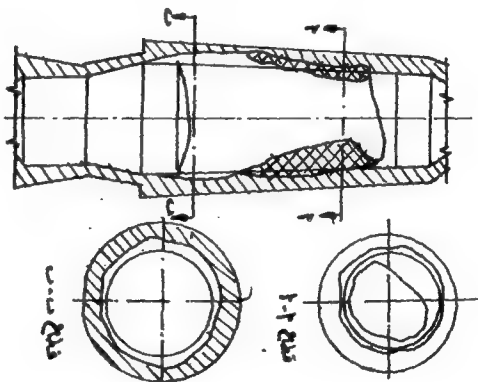
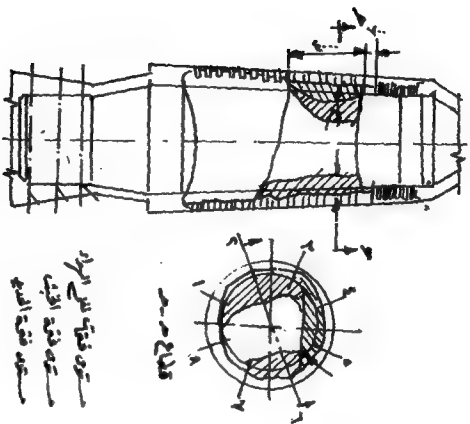
تزايد مسامية طبقات الشحنة تحت الرواسب ، وترتفع درجة الحرارة مرة أخرى ، لتزدى من جديد إلى انصهار الحام قبل اختزاله في مستوى يعلو منطقة تكون الرواسب ، لينتج خبثا يحوى نسبة عالية من أكاسيد المعدن تتفاعل مع كربون الكوك ، وتختزل نسبيا لينتج المعدن بصورة قريبة من النقاء التام ، والذي يتجمد بسرعة نتيجة ذلك ، مكونا الطبقة الخارجية للرواسب ، والتي تسبب زيادة تماسكها وتعملها . وتكرر العملية ، ويزداد حجم الرواسب تباعا ، ويزداد أثرها السئ على التشغيل ، كما حدث بالقرن رقم (٢) بمصانع بالأوردال بالاتحاد السوفيتى ، الشكل (٤٥) ، حيث أغلقت الرواسب أكثر من ثلث مقطع القرن عند منتصف الظروف العلوى .

وبالإضافة إلى ذلك ، تسبب أبخرة القلويات ، وخاصة سيانيد البوتاسيوم وكلوريد الصوديوم في تكوين الرواسب ، حيث تتفاعل هذه الأبخرة مع أكاسيد الحام وكربون الكوك ، مولدة البوتاس ، الذى يتفاعل والطوب الحرارى المبطن للفرن ، مكونا نوعا من الخبث يتصهر عند درجات حرارة (٩٠٠ إلى ١٠٠٠ م) . وترتبط بهذا الخبث اللزج المقاسك بعض أجزاء من مكونات الشحنة . ومع استمرار التشغيل ، وتفاعل القلويات مع أكاسيد الحديد الموجود بالشحنة ، وتولد المعدن منخفض الكربون ، يزداد معدل تكوين البوتاس ، ويتجدد تفاعله مع مكونات الشحنة ، مكونا خلطة متاسكة تتجمع عليها جزيئات أخرى مكونة الرواسب بعد ذلك . ولهذا يتميز هذا النوع من الرواسب ، بطبقات متتالية من المعدن والمواد الأخرى .

ويتغير شكل الرواسب المتكونة ، كما يتغير مكان وجودها ، وكما ذكر من قبل ، فقد يحدث أن تتكون الرواسب بشكل حلقى ملامس لجدران الفرن عند مستوى معين ، أو أن تتكون في أحد جوانب الفرن فقط .

ويمكن معرفة بدء تكوين الرواسب قبل أن يستفعل تأثيرها السئ على التشغيل ، وذلك بمتابعة درجة حرارة صاج الفرن ، حيث أن المناطق التى تلامس هذه الرواسب ، بسبب عدم تعرضها لجو الفرن مباشرة ، تكون أبرد ملمسا من غيرها . وكذلك يمكن تحديد حجم الرواسب المتكونة ، بتتبع أبعادها الخارجية بنفس الطريقة .

ومما ذكر آنفا ، يتضح أنه يمكن عن طريق اتباع نظام شحن يكفل حسن توزيع الغازات الصاعدة على مقطع الفرن ، بالإضافة إلى المبادرة في اكتشاف بدء تكوين الرواسب ، يمكننا التغلب عليها بسهولة . أما إذا استفعل الأمر ، ولم نجد المحاولات في التخلص منها ، فلا



نموذج رقم (٤٥) - بين المواصفات التي تكونت بالفرن د ب، بصانع أيضا كيف سنة ١٩٥٤
 و مرفقة آتاه تاجرها بأعلى وثلاية لفرط لعلوه وكذا العليان بقصة ج ١

مناص من إزالتها ، عن طريق النسف . باستخدام عيوات ناسفة ، توضع هذه في أخرام تجهيز من خلال الصاج داخل الرواسب . ويسبق عمليات التخريم هذه خفض مستوى الشحنة بالفرن ، إلى مستوى أدنى من مستوى نهاية الرواسب السفلى ، مع إضافة نصف كمية الفحم المقدرة للصهر ، ولاخزال الرواسب حسب التقدير المبدئي لحجمها . ثم يبدأ التفجير ، وهذا عمل دقيق يحتاج إلى خبرة خاصة ، بحيث تتم إزالة كل أنر للرواسب نهائيا من المنطقة ، حتى لا تبقى هنال أى نواة يكون من السهل تكون الرواسب عليها بعد ذلك . وعند التأكد من انتهاء العمل ، تضاف الكمية المتبقية من الكوك ، ويبدأ في تشغيل الفرن كالمعتاد .

وقد مر القرن الأول بمصانع حلوان بمجمهورية مصر العربية ، بمرحلة خطيرة في بدء تشغيله ، نتيجة تكوين الرواسب بالمحروط العلوى ، ثم القضاء عليها بنفس الأسلوب . وكانت زيادة نسبة النواعم في المشحونات ، ونظام شحن الفرن ، من الأسباب الرئيسية في تكوين هذه الرواسب ، التى تميزت بارتفاع قاعديتها ، واحتوائها على نسبة عالية من أكاسيد المعدن .

وتتعرض الأفران الصغيرة حجبا ، لتكون الرواسب بنسبة أعلى من الأفران ذات الحجم الكبير .

الباب الثامن

حسابات بعض مؤثرات تشغيل القرن العالي

يعتمد تشغيل الأفران العالية، برتابة وسلاسة، للحصول على الحديد الزهر المطلوب طبقا لمواصفاته المحددة، إلى حد كبير، على تحقيق تكوين خبث يحوى كل شوائب الخامات المستخدمة وغير المرغوب فيها، وعليه كان لزاما إجراء مجموعات من الحسابات، تحدد كل مؤثرات التشغيل، وما أكثرها. وفى هذا المجال، نورد بعضها وأهمها، والتي تمثل مدخلا تتفرع منه بقيتها، مع الأمثلة ما أمكن، حيث يحدد هدف هذا الكتاب من إمكانية الاسترسال فى هذا الاتجاه، رغم أهميته.

ويمكن تقسيم هذه الحسابات إلى الآتى :

أولا - حسابات الشحنة :

وتختص هذه باحتساب كميات الخام، ومساعد الصهر، والمواد المثقلة المعروفة تحاليلها من قبل، فى سبيل الحصول على منتجات ذات تحاليل محددة.

ثانيا - حسابات المنتجات :

وتختص هذه بحسابات تحاليل، وكميات منتجات الفرن من الحديد الزهر والخبث والغازات، بمعرفة أوزان ومكونات المشحونات.

ثالثا - حسابات الميزان الحرارى للفرن :

وتختص هذه باحتساب كميات الحرارة اللازمة للحصول على منتج معين، باستخدام شحنات معروفة، تتم عليها تفاعلات خاصة.

وتتم عادة، ومع بداية التفكير فى أى مشروع لإنتاج الحديد والصلب، دراسة الخامات التى ستستخدم به، وتحدد تحاليلها الكيميائية ومكوناتها وخواصها تحديدا دقيقا، وتجمع هذه البيانات فى جداول تسمى جداول توصيف الخامات، نورد فيما يلى، وكمثال، جدولا يبين التحاليل الكيميائية للخامات المستخدمة والمنتجات :

جدول
مجمع التحاليل الكيميائية للمشحونات والمنتجات

مشحونات			منتجات		
خدمات	مكونات	مكونات	الزهر	الحبث	أثرية
حديدي	قاعدية	حاضضية	المنتج	المنتج	الغازات
الافران					
ليد	غلم	حجر	مغنيسيا	سيليك	ألومينا الكوك
%	%	%			ملزوت
أكسيد حديديك	٧٨				
أكسيد حديدوز					
محتجز	٠,٥			٠,٤	
فوسفور	٠,٨٥			٠,٩	
سيليكون				٢,١	
ألومينا	٥,٠		١,٠		
ماغنيسيا	١,٢	٠,٨			
حجر	٥٢,٨				
كربون			٨٨	٢,٨	
رماد كوك					
مواد متطايرة					
رطوبة	٥,١		٢,٠		
أول أكسيد الكربون					٢٥,٧
ثاني أكسيد الكربون		٤٢,٤			١٢,٩
هيدروجين					٠,٣
نيتروجين					٥٨,١
سيليك	٨,٤	٢,٠	١		
حديد				١٢,٨	
...					

وعليه ، وبمعرفة التحاليل ، يمكن إتمام حسابات الفرن العالى المذكورة آنفا وكما يلى :
أولاً : حسابات النشحنة :

ولنل هذه الحسابات ، يفضل أن تساق الأمثلة الحسابية المحولة ، لتسهيل إيضاح الخطوات اللازم اتباعها ، فتلا ، المطلوب تحديد

١ - وزن الخام المستخدم

٢ - وزن المبلغ الناتج ونسب مكوناته

٣ - وزن الهواء اللازم

٤ - حجم ونسب مكونات غاز الفرن الناتج

٥ - كمية الكوك المحترقة أمام الودانات

المقابل لكل طن (١٠٠٠ كجم) من الزهر المنتج بالتحاليل المبينة بالجدول أعلاه ،
يفرن عال يستخدم خام الحديد ، والحجر الجيري ، والكوك بالتحاليل المبينة بالجدول . علما
بأن كمية الحجر الجيري تعادل $\frac{4}{1}$ كمية الخام المستخدمة ، وأن كل طن من الزهر يحتاج
إلى ٩٠٠ كجم من الكوك ، وأن نسبة غاز أول أكسيد الكربون الناتج ، تعادل ضعف نسبة
غاز ثاني أكسيد الكربون ، وأن الخبث يحوى ٠,٥% من الحديد الناتج .

الحل : (١) وزن الخام المستخدم :

$$\text{الحديد فى كل كجم من الخام} = \frac{112}{160} \times 0,78 = 0,546 \text{ كجم}$$

$$\text{الحديد الخارج مع الخبث} = 0,005 \times 0,546 = 0,0027 \text{ كجم}$$

$$\text{الحديد المتبقى} = \frac{0,5433}{0,0027} = 201 \text{ كجم}$$

$$0,0027 \text{ كجم} = \frac{928}{1708} \text{ كجم} \dots (١)$$

٢ - وزن المبلغ الناتج :

يتكون الخبث من الأكاسيد التى لم يتم اختزالها مضافاً إليها باقى عائد العناصر (ص) ،
وعليه نجد أن :

كمية السيليكا المشحونة =

$$17.08 \times 0.084 + 17.084/1 \times 0.002 + 9.0 \times 0.09 = 233 \text{ كجم}$$

كمية السيليكا التي تم اختزالها للحصول على سيليكون المعدن

$$= 21 \times 10/28 = 45 \text{ كجم}$$

$$\therefore \text{كمية السيليكا في الخبث} = 233 - 45 = 188 \text{ كجم ونسبتها } 23.9\%$$

وبالمثل نجد أن :

$$\text{كمية أكسيد المنجنيز في الخبث} = (17.08 \times 0.006) - (4 \times 71/55) = 5 \text{ كجم ونسبتها } 0.9\%$$

$$\text{خامس أكسيد الفوسفور في الخبث} = (17.08 \times 0.017) - (9 \times 162/112) = 8 \text{ كجم ونسبتها } 1.4\%$$

$$\text{أكسيد الحديدوز في الخبث} = 77/56 \times 0.195 \times 928 = 6 \text{ كجم ونسبتها } 1.1\%$$

$$\text{كمية الألومينا في الخبث} = (17.08 \times 0.100) + (100 \times 1/100) = 94 \text{ كجم ونسبتها } 16.9\%$$

$$\text{كمية الماغنيسيا في الخبث} = 17.08 \times 12/100 + 40/86 \times 1/100 \times 1/4 \times 17.08 = 25 \text{ كجم ونسبتها } 4.5\%$$

$$\text{كمية الجير في الخبث} = 57/100 \times 96/100 \times 427 = 229 \text{ كجم ونسبته } 41.3\%$$

$$\therefore \text{وزن الخبث الإجمالي} = 555 \text{ كجم تعادل } 100\%$$

وعليه تكون نسبة مكونات الخبث كما هو مبين أمام كل منها (٢)

٣ - حساب حجم الهواء اللازم :

الكربون المتبق في غازات الأفران = الكربون الموجود في الكوك المشحون + الكربون الناتج من تحلل الكربونات - الكربون المتحد بالمعدن

$$= 9.00 \times 88/100 + 427 \times 96/100 \times 100/100$$

$$427 \times 1/100 \times 17/86 - 38 = 8.4 \text{ كجم}$$

وحيث أن كلا من أول وثاني أكسيد الكربون ، يحوى ذرة واحدة من الكربون
 $\frac{1}{2}$. ٠٠٠ الكربون هذا يتحول إلى ثاني أكسيد الكربون . $\frac{1}{2}$ إلى أول أكسيد الكربون .
 وعليه :

فوزن الأوكسيجين الموجود في أول أكسيد الكربون = $\frac{1}{2} \times 8.4 \times \frac{1}{12} = 718$ كجم .

فوزن الأوكسيجين الموجود في ثاني أكسيد الكربون = $\frac{1}{2} \times 8.4 \times \frac{1}{12} = 718$ كجم
 ٠٠٠ إجمالى وزن الأوكسيجين = ١٤٣٦ كجم

ولكن جزءا من هذا الأوكسيجين موجود أصلا متحدا بكاربون مساعد الصهر ويساوى
 $= \frac{1}{12} (1.2 + 49.2) = 134$ كجم

وجزءا آخر نتج من اختزال أكسيد الحديدك ويساوى

$$= \frac{18}{100} \times 170.8 = 30.744 \text{ كجم منها}$$

نقص منه كمية الأوكسيجين المقابل لأكسيد الحديدوز بالخبث

$$= \frac{1}{12} \times 6 = 1 \text{ كجم}$$

٠٠٠ أوكسيجين أكسيد الحديدك = ٣٩٩ كجم

وبالمثل :

الأوكسيجين المقابل لنسبة السيليكا المختزلة = $\frac{1}{18} \times 21 = 24$ كجم

الأوكسيجين المقابل لنسبة أكسيد المنجنيز = $\frac{1}{55} \times 4 = 1$ كجم

الأوكسيجين المقابل لاختزال خامس أكسيد الفوسفور = $\frac{1}{12} \times 9 = 12$ كجم

٠٠٠ إجمالى الأوكسيجين الناتج من الشحنة = ٥٧٠ كجم

٠٠٠ وزن الأوكسيجين المأخوذ في الهواء اللاصق = ١٤٣٦ - ٥٧٠ = ٨٦٦ كجم

وزن الهواء المقابل = $\frac{100}{21.2} = 3730$ كجم

جم الهواء المقابل = $\frac{100}{21.2} = 22885$ م^٣ (٣)

وواضح أن هذه الحسابات لم تتعرض لتفاصيل ما تم مرحليا داخل الفرن من تفاعلات ،
 ولكنها تعرضت لحالة بداية ثم نهاية ثابتتين ، وهو اتجاه صحيح ، إذا روعى الفرن ككل . أما

إذا قصدت دراسة الحسابات لتفاعلات يحجزه معين به ، فالزيد من التفصيلات والتفاعلات
المرحلة تجب دراسته حينئذ ، كما أنها تحت الظروف المثالية للحرارة والضغط ، ولهذا فهي
تخضع لتصحيح لتقابل الدافع .

٤ - حساب تحاليل الغازات ونسب مكوناتها .

كما تقدم نجد أن : -

$$\text{أول أكسيد الكربون} = 78/16 \times 718 \times 22.1/28 = 100.5 \text{ م}^3 \text{ تعادل } 25.7\%$$

$$\text{ثاني أكسيد الكربون} = 44/22 \times 718 \times 22.1/44 = 5.3 \text{ م}^3 \text{ تعادل } 12.9\%$$

$$\text{النيتروجين} = 28/100 \times 2278 = 2885 \text{ م}^3 \text{ تعادل } 58.1\%$$

$$\text{بخار الماء} = 18/1000 \times 1708 + 18/100 \times 900 \times 22.1/18 =$$

$$131 \text{ م}^3 \text{ تعادل } 3.3\%$$

$$\text{إجمالي } 3917 \text{ م}^3 = 100\% (4)$$

٥ - كمية الكوك المحترقة أمام الودنات : -

يحترق جزء من الكوك أمام ودنات الأفران إلى ثاني أكسيد الكربون ، ثم إلى أول أكسيد
الكربون (ص) ، وعليه يكون التفاعل النهائي هو $2\text{ك} + 4\text{ا} - 2\text{ك} 1$

وحيث أن كمية الهواء المستهلكة وجدت في المثال تعادل 2885 م³ طن حديد

$$\text{وهي تحوى } 2885 \times 0.21 = 606 \text{ كجم أوكسجين}$$

$$\text{وحسب التفاعل نجد أن هذا الأوكسجين يحرق } = 606 \times 2.4$$

$$= 649 \text{ كجم من الكربون}$$

وحيث أن الكوك يحوى 88% كربون ، وأن كجم كوك تستخدم لإنتاج طن الزهر

$$0.0 \text{ كمية الكربون بالكوك المستخدم} = 712 \text{ كجم}$$

$$\text{وعليه فبنسبة الكوك المحترق أمام الودنات إلى المستخدم} = 712/712 = 82\%$$

أما الجزء الباقي من كربون الكوك ، فلما أن يختلط بالحديد ، وأما أن يؤكسد في
المستويات الأعلى عن مستوى الودنات بأوكسجين أكاسيد الحديد .

ثانياً : حسابات المنتجات ووضع ميزان المواد :

يلزم دواما للحكم على عمليات الأفران ، إجراء المقارنة الحسابية بين المشحون من الخامات والخارج في المنتجات ، ومعرفة مدى تطابقها ، يمكن الحكم على مدى مطابقة تحاليل كل منها لأرقام التسجيل والمتوسطات . كما يمكن البحث عن أسباب القصور - إن وجدت - ومعرفتها ولتسهيل شرح هذه الحسابات ، نسوق المثال الآتي : -

يستهلك فرن عال ٩١٢ طنا من خام المجنتيت ، ٥١٠ أطنان من الكوك ، وكميات كافية من الحجر الجيري ، لإنتاج خبث يحوى ٤٠% من السيليكا . فإذا افترض أن كل الفوسفور المشحون ، ٥٠% من المنجنيز المشحون ، ١/٥ كمية السيليكا المشحونة ، يتم اختزالها جميعا ، وتتحلل بالحديد ، لتنتج حديد زهر يحوى ٤% كربون .

يفترض أن كل الكبريت ، وأن ١% من الحديد المشحون يتحدان بالخبث ، وأن كمية الهواء اللائح تعادل / ٣٢٠٠ م^٣ (عكسه عند ٥١٥,٥ م^٣ ، ٧٦٢ مم زيتى وتحوى ٢٢,٥ جم من الرطوبة بكل م^٣) ، لكل طن كوك مشحون ، احسب الآتى :

١ - ميزان كامل للمواد بالكيلو جرام لليوم .

٢ - نسب مركبات كل من الحديد الزهر والخبث والغازات الناتجة .

علما بأن تحاليل الخام ومساعد الصهر والكوك كما يلى :

خام الماغنيتيت	مساعد الصهر	الكوك
%	%	%
أكسيد ماجنتيت ٧٠,٣	حجر جيرى ٩٥,٤	كربون ٨٧,٢
أكسيد حديدك ٤,٨	كربونات مغنيسيوم . . . ٢,٥	بيرست ٢,٠
سيليكا ١٠,٢	ألومينا ٠,٥	سيليكا ٩,٠
خامس أكسيد الفسفور . . . ٠,٩	سيليكا ٠,٩	ماء ١,٨
أكسيد منجنيز م ٠,٢١	ماء ٠,٧	

ألومينا . . . ٢,٦

ماء . . . ٧,٦

الحل :

من حاصل ضرب أوزان الخامات المشحونة في نسب مكوناتها ، يمكن الحصول على أوزان هذه المكونات ، وتوضع في الخانة الأولى من جدول ميزان المواد ، وتحسب كالآتي :

عنصر الحديد :

الحديد المشحون كأكسيد حديد مغناطيسي $= ١٨٠/٢٢٢ \times ٦٤١ = ٤٦٤$ ألف كجم

الحديد المشحون كأكسيد حديديك $= ١١٢/١٦٠ \times ٤٤ = ٣١$ ألف كجم

.. .. كبريت بالكوك $= ٥٦/٨٨ \times ١٠ = ٦,٥$ ألف كجم

إجمالي $= ٥٠٦,٥$ كجم

٠٠ الحديد الفاقد في الخبث على هيئة أكسيد حديدوز $= ١/١٠٠ \times ٥٠٦,٥ = ٥$ كجم

٠٠ أكسيد الحديدوز بالخبث $= ٧١/٥١ \times ٥ = ٦,٥$ كجم

ويافتراض أن هذه الكمية من الحديد مأخوذة من حديد أكسيد الحديدك ، ينتج أن

أكسيد الحديدك في الزهر $= ٥ - ٣١ = ٢٦$ كجم

عنصر المنجنيز :

المنجنيز في أكسيده (γ) $= ٥٥/٨٧ \times ٣٣ = ٢١$ ألف كجم

المنجنيز في الحديد الزهر $= ١٠,٥$ ألف كجم

٠٠ أكسيد المنجنيز في الخبث $= ٧١/٥٥ \times ١٠,٥ = ١٣,٥$ ألف كجم

السيليكا :

السيليكا الموجودة مصدرها السيليكا المشحونة ، بالإضافة إلى السيليكا الموجودة في

مساعد الصهر ، وعليه فإذا افترض أن وزن مساعد الصهر المستخدم = س

٠٠٠ السيليكا الذى يحتويها = ٠,٠٠٩ س

ويكون إجمالى السيليكا المشحونة = ٩٣ + ٤٦ + ٠,٠٠٩ س

ويكون هـ، هذه الكمية، يمثل ٤٠٪ من وزن الخبث الناتج.

وحيث أن مكونات الخبث الأخرى هى كما يلى :-

من الخام = ح + م + ١ + لو ٢ م = ٦,٥ + ١٣,٥ + ٢٣,٥ = ٤٣,٥

من مساعد الصهر = كا + ١ + مغ + ١ + لو ٢ م = ٥٣٤ س + ١٢,٠ س + ٠,٠٠٥ س =

٠,٥١٥ س

من الكوك = كاس المتكون من (ح س) باستعمال (كا ١) من مساعد الصهر كالاتى :

(ح س + كا ١ + ك - ح + كا س + ك ١)

= ١٠ × ٧١/٨٨ = ٨ (كا ١) المستخدم = ١٠ × ٦,٥ = ٦٥ ألف كجم

٠٠٠ الوزن الكلى للخبث حاويا السيليكا = ٤٣,٥ + (٨ - ٦,٥) + ٠,٥٥١ س + هـ =

(١٣٩ + ٠,٠٠٩ س)

= ١٥٦ + ٠,٥٥٨ س

٠٠٠ ٢٢٢ + ٠,٠٧ س = ٠,١٠٠ (١٥٦ + ٠,٥٥٨ س)

٠٠٠ س = ٢٢٥

وعليه تصبح كمية السيليكا فى الخبث = ١٣٩ + ٠,٠٠٩ س = ١٤١ ألف كجم

والسيليكون ناتج الاختزال المتحد بالحديد = ١٨/١٠ × ١١٤/هـ = ١٣ ألف كجم

الجزء :

أكسيد الكالسيوم فى مساعد الصهر = ٢١٥ × ٥١/١٠٠ = ١٢٠ ألف كجم

أكسيد الكالسيوم اللازم لتكوين كاكب = ١٠ × ٥١/٨٨ = ٦,٥ ألف كجم

الكالسيوم المقابل = ٦,٥ × ٤٠/٥١ = ٤,٥ ألف كجم

الحديد الزهر:

وزن الحديد الزهر بدون الكربون = ٥٢٣ ألف رطل

وزن الكربون به = $٥٢٣ \times \frac{1}{100} = ٥٢٣$ ألف رطل

الهواء اللازم:

حجم الهواء الكلي = $٥١٠ \times ٣٢٠٠ = ١٦٣٠٠٠٠$ متر مكعب مقاسا عن درجة حرارة ١٥,٥ مئوية وضغط ٧٦٢ مم

كمية الماء بالهواء = $٢٢,٥ \times ١٦٣٠٠٠٠$

٣٣٠٠ كجم

وحيث أن كل كجم من الوزن الفعلي للغاز يحوى ٢٢,٤ متر مكعب عند درجة الصفر وضغط ٧٦٠ مم

$$= ٢٢,٤ \times \frac{٧٦٠}{٧٦٢}$$

= ٢٣,٦ متر مكعب

عند درجة ٢٥,٥ وضغط ٧٦٢ مم

٠٠ حجم بخار الماء = $\frac{٣٠٠}{100} \times ٢٣,٦ = ٤٣$ ألف قدم مكعب

٠٠ حجم الهواء الجاف = $١٦٣٠ - ٤٣$

= ١٥٨٧ ألف مكعب

وحيث أن المتر المكعب من الهواء عند درجة الصفر وضغط ٧٦٠ مم يزن ١,٠٥ كجم

٠٠ المتر المكعب عند درجة حرارة ١٥,٥ وضغط ٧٦٢ يزن =

$$١,٠٠٩ = \frac{٣٣٢}{٧٦٠} \times ١,٠٥$$

٠٠ وزن الهواء الجاف = $١٥٧٨ \times ١,٠٠٩ = ١٦٠٠$ ألف كجم

ووزن الأوكسيجين به = $٢٣,٢ \times ١٦٠٠ = ٣٧١$ ألف كجم

وبناء عليه يمكن استكمال جدول موازنة المواد ليصير في شكله النهائي كالآتي:
ومنه يمكن حساب نسب مكونات كل من الزهر والخبث.

أما تكوين وتحليل غازات الأفران، فيجب أن تحسب طبقا للحجم، وعليه:

وزن كربون الكوك المحترق = ٤٢٣ ألف كجم

جدول ميزان المواد كجم في اليوم × ١٠٠٠

الغازات	الحث	الحديد الزهر	الشحنة
الحام (٩١٢)			
أ = ١٧٦	.	٤٦٤ =	أكسيد ماجنتيت = ٦٤١ حديد
أ = ١١,٥	٦,٥ =	٢٧ =	أكسيد حديدك = ٤٤ حديد
أ = ١٥	٦٥ =	٦٣ =	سيليكات سيليكات = ٩٢
أ = ٤,٥	.	٣,٥ =	خامس أكسيد الفسفور = ٨ فسفور
أ = ٩	١٣,٥ =	٠,٥ =	أكسيد المنجنيز م أ = ٣٣ منجنيز
	٢٣,٥ =	ألوينا	ألوينا = ٢٣
			ماء = ٦٩
مساعدة الصهر (٤٤٩)			
ك أ = ٩٤,٥	١١٣,٥ =	كا ا	حجر جيري = ٢١٥
ك أ = ٣	٢,٥ =	مخ ا	كرومات المنغنيز = ٥٥
أ = ٢	١ =	لو أ	ألوينا = ١
	٢ =	س أ	سيليكات = ٢
نم أ = ١,٥	٤,٥ =	ككا	ماء = ١,٥
الكوك (١٠٢٠)			
		٢٢ =	كربون = ٤٤٥
ك = ٤٢٣	٤٦ =	س أ	سيليكات = ٤٦
	٣,٥ =	كب	بيريت = ١٠ حديد
يد أ = ٩			ماء = ٩
هواء نفخ (٤,٣٧٣)			
٣٧١ = ا			أوكسيجين (١) = ٣٧١
ن = ١٢٣٠			نيتروجين (ن) = ١٢٣٠
يد = ٤			ماء = ٢٣
٣٩ = ا			
٢٤٤١	٧٨٢	٥٤٦	٣٣٧٠ إجمالي

ثاني أكسيد الكربون = $351 \times 209/11 = 2864$ ألف م³ = $9,35\%$

بخار الماء = $33 \times 209/18 = 1195$ ألف م³ = $3,84\%$

هيدروجين (يد) = $8 \times 209/18 = 718$ ألف م³ = $2,36\%$

نيتروجين = $1230 \times 209/18 = 15768$ ألف م³ = $50,7\%$

إجمالي = 31.67 ألف م³ تعادل 100%

ثالثاً: حساب الميزان الحرارى للفرن :

يحتاج العاملون بالفرن العالى ، لمجموعة أخرى من الحسابات ، تصور العلاقة ما بين كميات الحرارة المتاحة وكمياتها اللازمة لإتمام العمليات الميتالورجية بالفرن ، وبجانب ظروف التشغيل ، ومنها تم فى احتساب ميزان المواد ، يمكن تلخيص الحسابات الحرارية فى جدول مماثل يسمى « جدول الميزان الحرارى » للفرن .

ونظراً لضيق المكان والمجال ، نعرض لذلك هنا بشيء من الاختصار ، وكتوجيه فقط . وعليه فى جانب الحرارة المتاحة يحسب الآتى :

- ١ - الحرارة ناتج احتراق الوقود .
 - ٢ - الحرارة الكامنة فى الوقود والهواء وسخنات الفرن (وهى عادة صغيرة)
 - ٣ - الحرارة ناتج التفاعلات الكيميائية الطاردة للحرارة .
- وفى جانب الاستهلاك أو الاحتياجات يحسب الآتى :
- ١ - الحرارة المستهلكة فى التفاعلات الكيميائية الماصة للحرارة .
 - ٢ - الحرارة المستهلكة فى تبخير رطوبة المشحونات .
 - ٣ - الحرارة الكامنة فى غازات الأفران .
 - ٤ - الحرارة الكامنة فى منتجات الأفران كالمعدن والخثب .
 - ٥ - الحرارة المستهلكة فى مياه التبريد .
 - ٦ - فواقد الحرارة نتيجة الإشعاع أو التوصيل .

وعليه وبالعصدة إلى أرقام ميزان المواد فى المثال السابق ، يمكن احتساب مصادر الطاقة المتاحة كالاتى :

١- الحرارة ناتج احتراق الوقود نعيد أن :

الحرارة الناتجة من الكربون المحترق إلى أول أكسيد الكربون = $٢٤٧٠ \times ٣٥٢ = ٨٦٩$ ألف كيلو كالورى

الحرارة الناتجة من الكربون المحترق إلى ثاني أكسيد الكربون = $٨٢٦٠ \times ٩٦ = ٥٨٦$ ألف كيلو كالورى

إجمال = ١٤٥٥ ألف كيلو كالورى (١)

٢- الحرارة الكامنة في الهواء الجاف :

ويتم تسخين الهواء حتى ١١٠٠° فهرنيت

= $١٦٠٠ (٠,٢٣٤ + ١٧٣ \times ١٠ \times ٥٩٣) \times ٥٩٣ = ٤٢٧$ ألف كيلو كالورى

الحرارة الكامنة في رطوبة الهواء :

= $٣٣ (٠,٤٦ + ٦ \times ١٠ \times ٥٩٣) \times ٥٩٣ = ٩$ ألف كيلو كالورى

٤٣٦ (٢)

إجمال

(الحرارة الكامنة بمادة = وزن المادة (الحرارة النوعية عند درجة حرارة المادة) * درجة الحرارة وتكون اوجه الاستهلاك كالاتى :

(لها جداول خاصة)

١ - ١ - الحرارة اللازمة لتكوين الحطب :

تتكون من مجموع حرارة تكوين مركباتها ، وتجمع هذه في جداول خاصة ، وفي حالتنا نكتفى باحتياج تكوين المركب (كا ا . س ^١) باعتبار أنه الأكبر نسبيا وتساوى ٤٢٠ كيلو كالورى / كجم سيليك

الحرارة اللازمة لتكوين الحطب = $١١٣ \times ٤٢٠ = ٤٧,٥$ ألف كيلو كالورى ورغم أن هذا ربما يقل عن الحقيق بنسبة ٢٥% إلا أنه ولصغر القيمة الإجمالية ، فإنه فيمكن إهمال الفارق .

١ - ٢ - الحرارة اللازمة لتكوين الحديد من مكوناته : (لها جداول خاصة)

أساسا لتكوين كربيد الحديد (ح ك) وتساوى (- ٤٤٣ كيلو كالورى / كجم كربون ،

أما لتكوين (ح ٣ س) = ٢٠٠٠٠ كيلو كالورى / كجم

واحتماسها في مثالنا، نجد أن قيمتها تساوى = ١٩ ألف كيلو كالورى

١ - ٣ - الحرارة المحتصة في اختزال الأكاسيد:

وهي اختزال أكاسيد الحديد والسيليكا وخامس أكسيد الفوسفور وأكسيد المنجنيز (لها جداول خاصة)

وفي مثالنا هنا تساوى ٩٢٧ ألف كيلو كالورى

١ - ٤ - الحرارة اللازمة لتحلل الكربونات :

باستخدام جداول (حرارة تكوين المركبات) ، نجد أن تحلل الحجر الجيري ٤٣٤٥٠ كالورى لكل جزىء

ولكربونات المغنسيوم تساوى ٢٧٨٠٠ ك / لكل جزىء من المركب ، وعليه ففي مثالنا نجد أن :

الحرارة اللازمة لتحلل الحجر الجيري = ٢١٠ × = ٩٣ ألف كيلو كالورى

الحرارة اللازمة لتحلل كربونات المغنسيوم = ٥,٥ × = ٢ ألف كيلو كالورى

إجمالى = ٩٥ ألف كيلو كالورى

إجمالى الحرارة المستهلكة في التفاعلات الكيميائية الماصة للحرارة = ١٠٤١ ألف كيلو كالورى (١)

٢ - الحرارة اللازمة لتبخير الرطوبة :

الماء المتبخر = ٦٢ + ١٣ + ٨٢ = ٧١,٥ الحرارة اللازمة = ٧١,٥ × ٥٨٦ = ٤١,٥ ألف كيلو كالورى

الحرارة اللازمة لتحلل مياه رطوبة الهواء

= ٣٤ × = ١١٢ ألف كيلو كالورى ... (٢)

٣ - الحرارة الكامنة في غازات الأفران :

ك = ١ = ٧٩١ (٠,٢٤٢ + ١٨ × ٧-١٠ × ٢٠٤) × ٢٠٤ = ٣٩,٧ ألف كيلو كالورى

ك = ١ = ٣٥١ (٠,٢٠٥ + ٤٦ × ٧-١٠ × ٢٠٤) × ٢٠٤ = ١٥,٣ ألف كيلو كالورى

يد = ١ ٤٣ (٠,٤٦ + ٦ × ١٠ - ٢٠٤ × ٢٠٤) = ٢٠٤ ٤,٢ ألف كيلو كالورى
 هيدروجين = ٤ (٣,٢٥ + ٢٢ × ١٠ - ٢٠٤ × ٢٠٤) = ٢٠٤ ٢,٦ ألف كيلو كالورى
 نيتروجين = ١٢٣٠ (٠,٢٤١ + ١٨ × ١٠ - ٢٠٤ × ٢٠٤) = ٢٠٤ ٦٠,٢ ألف كيلو كالورى
 إجمالى = ١٢٢ ألف كيلو كالورى ... (٣)

٤ - ١ الحرارة الكامنة فى المعدن المنتج : (درجة حرارة الحديد ١٥٩٠ م)
 من الجداول الخاصة ، ومع مراعاة درجة الحرارة اللازم وصول المعدن لها (١٥٩٠ م)
 نجد أن الحرارة الكامنة بالمعدن عند درجة حرارة الإسالة (تحليل كربون) تعادل ٢٣٠ كجم
 كالورى ، ومع معرفة أن الحرارة النوعية لهذا الزهر (٤٪ كربون) = ٠,١٥
 ٠٠ الحرارة الكامنة = ٥٤٥ (٢٣٠ + ٤٩٣ × ٠,١٥) = ١٦٦ ألف كيلو كالورى

٤ - ٢ الحرارة الكامنة فى الخبث المنتج : (درجة حرارة المخلخ الناتج = ١٥٩٠ م)
 وبالمثل ، وبالرجوع إلى الجداول الخاصة نجد أنها
 = ٢٨٢ (٤٠٠ + ٣٠٠ × ٠,٣٠) = ١٣٨ ألف كيلو كالورى

٠٠ إجمالى الحرارة الكامنة بالمنتجات = ٣٠٤ ألف كيلو كالورى (٤)

٥ - الحرارة المتصدة بمياه التبريد : (٤٠٠ ألف جالون لليوم ، ترفع ٥٥,٦ م)
 الحرارة اللازمة = = ٩٣ ألف كيلو كالورى (٥)

٦ - الحرارة المفقودة بالإشعاع والتوصيل :

لعدم توافر البيانات ، تحسب كالفارق بين مصادر والاستهلاك
 أى تساوى فى حالتنا = ١٩٣٠ - ١٧٢١ = ٢٠٩ ألف كيلو كالورى

ونلخص النتائج فى جدول الميزان الحرارى كالتالى

وتسهيلا لأعمال الحسابات هذه عكف العلماء على تبسيطها ، ووضعت لها علاقات تجمع
 العديد من الجداول والدلالات فى صورة مجموعة من الرسوم البيانية ، يمكن بالرجوع إليها ،
 إتمام هذه الحسابات فى زمن أقل ، وتقريب لا يضرب بجمل المهدف . ومن هذه المجموعة ،
 تلك المحددة بالأشكال الآتية :

الأشكال ٤٦ ، ٤٧ ، ٤٨ ، ٤٩ ، ٥٠ .

جدول الميزان الحرارى

الاحتياجات			المصدر		
البند	وطل كالورى × ١٠٠٠ %	البند	البند	وطل كالورى × ١٠٠٠ %	
احتراق الوقود	١٤٥٥	٨٣,٣	تكوين الحديد	١٩	-٠,٩٨
مع الهواء اللاصق	٤٢٧	١٤,٨	اختزال الأكاسيد	٩٢٧	٤٨,٠٠
تكوين الخبث	٤٨	١,٩	تخلل الكربونات	٩٥	٤,٩
			تيخر الرطوبة	٤٦,٥	٢,٢
			تخلل الماء	١١٢,٥	٥,٨
			حرارة بالغازات	١٢٢,٠	٦,٣
	١٩٣٠			١٣١٧	
			حرارة بالمعدن	١٦٦	٨,٥٥
			حرارة بالخبث	١٣٨	٧,٢٥
			حرارة ببياء التبريد	٩٣	٤,٨
			ح كب - كاكب	٧	-٠,٤٠
			فواقد الاشعاع والتوصيل	٣٨١	١٠,٨
إجمالي	١٩٣٠	١٠٠		١٩٣٠	١٠٠

وتستغل هذه الانكسار والمجدول فى حساب المتطلبات الآتية :

١ - حساب كمية الكوك اللازمة لشحنة معينة :

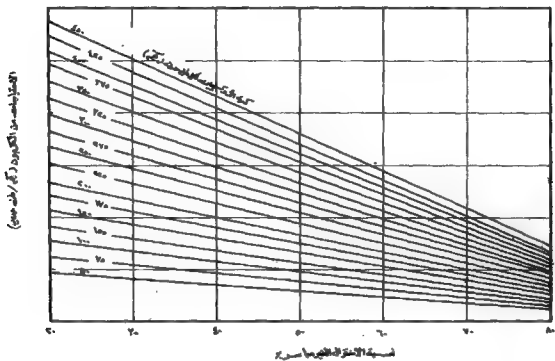
باستخدام هذه المجموعة من العلاقات ، يمكن احتساب كمية الكوك اللازمة لشحنة ما كالآتى :

أولاً - الكوك اللازم للاختزال :

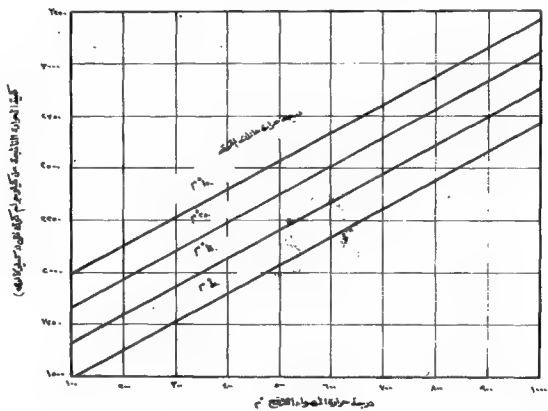
(أ) يحسب كالمعاد الكوك اللازم لاختزال الأكاسيد المكونة للحديد الزهر المنتج - نسبة الاختزال غير المباشر لهذه الأكاسيد) × ١٠٠/١٠٠٠

(ب) شكل رقم (٤٦) يحدد هذه الكمية .
 ثانياً: الكوكب اللازم لتكوينه ، متوسط (أ) ، (ب) بطيء الكوكب اللازم
 للاختزال (١)

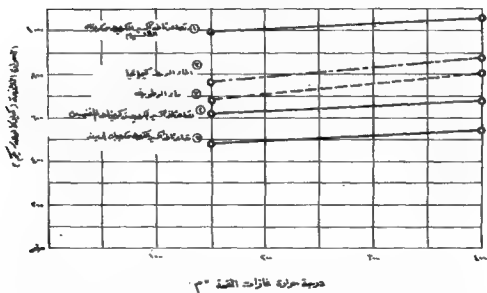
شكل ٤٦- احتياج اختزال الخام من الكوبالت

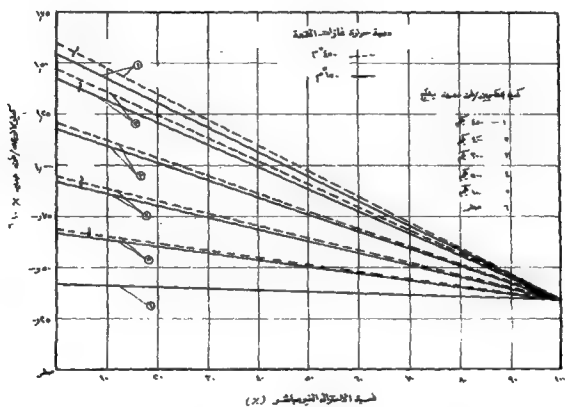


شكل ٧ - كمية الحرارة الناتجة من كيلوجرام واحد من
الوقود الجاف عند ١٠٠ كجم/م^٣ عند ٥٠

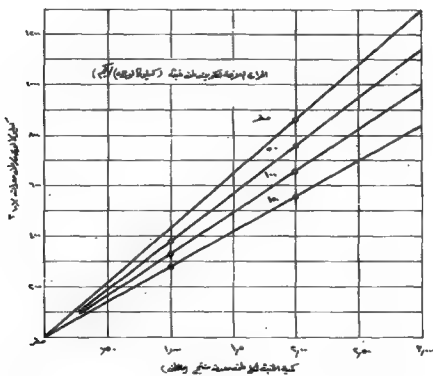


شكل ٤٨ - استجابات كل كجم من تاف أكسيد الكوبالت بالكربونات
أو الماء من الصوان





شكل (٥٠) - الحرية اللازمة لتكوين الخبيث



ثانيا : الكوك اللازم للكرينة : مبانرة من تحليل المعدن يمكن احتسابها (٢)

ثالثا : الكوك اللازم للتسخين :

كمية الكوك اللازم لتكوين الحديد ، ورفع حرارته لدرجة حرارته عند صبه + كمية الكوك اللازم لتكوين الخبث ، ورفع حرارته لدرجة معينة + كمية الكوك اللازم للتخلص من الرطوبة وتبخرها ، والكوك اللازم لتحلل الكربونات والهيدروكسيدات ، والكوك المطلوب ولتكوين بخار الماء ورفع درجة حرارته + الكوك المقابل للحرارة الخارجة مع الغازات + الكوك اللازم لتوفير الحرارة المفقودة بالإشعاع أو التوصيل + الحرارة اللازمة لباقي التفاعلات .

وهذه يمكن تمثيلها باستخدام الأشكال أرقام (٤٧) ، (٤٨) ، (٤٩) ، (٥٠) حيث يمكن تمثيل هذه العلاقة كالآتي :

الاحتياجات عالية

كوك تسخين = $\frac{\text{الحرارة الناتجة عن احتراق كربون الكوك} - \text{الحرارة اللازمة لتسخين هذا الكوك لدرجة الاحتراق}}{\text{الاحتياجات عالية}}$

والحرارة اللازمة لتسخين الكوك هذه تعادل $\frac{120 \text{ إلى } 150 \text{ كيلو كالورى}}{0.77}$ /كجم كوك ساخن وعليه يجمع ناتج (١) ، (٢) ، (٣) تحدد كمية الكوك اللازمة لشحنة ما .

وبالمثل يمكن معرفة كميات التسحونات ، وكميات الحديد الزهر الناتج ، احتساب كمية الخبث الناتج ، وكمياله ، ونسب مكوناته ، ومؤشرات التشغيل للفرن بسهولة ، باستخدام نموذج الحسابات الآتي :

٢ - حسابات كمية الغازات الناتجة بطريقة مباشرة :

لما كان نتروجين الهواء اللافتح ، لا يتعرض من خلال رحلة الغازات في الفرن لأي تغير في كميته (خلافا للنقص المحدود مقابل تلك الكميات التي تتحد بجزء من كربون الكوك وتكوين السيانوجين ، أو تلك التي تتحد بالهيدروجين مكونة أمونيا) ، فعليه يمكن اعتبار هذه الكمية ثابتة :

وحيث أن نسبة النتروجين بالحجم في الهواء اللافتح تساوى ٧٩%

وأن نسبة النتروجين بالحجم في غازات الأفران ، معروف من قراءات الأجهزة (مثلا

(٥٩ %)

٣- تحديد كمية الغازات الناتجة أمام الودنات :

بمعرفة تحليل غاز الودنات (ص) ، وحيث أن كل ١٠٠ جزء من هذا الغاز تنتج من (٨٣,٤) جزء من الهواء اللاصق

٠٠ حجم غاز الودنات يعادل = ١,٢ حجم الهواء اللاصق الفعلى الداخلى للفرن
ويمكن تحقيق ذلك من ميزان التروجين ، ومن خلال تحليله فى كليهما .

٤- حساب القيمة الحرارية لغاز الأفران :

بمعرفة تحاليلها وبمعرفة الآتى :

كل كجم كربون ، يتحول إلى غاز أول أكسيد الكربون ، يحوى حرارة = ٢٤٣٠ كيلو كالورى

كل كجم كربون يتحول إلى ثانى أكسيد الكربون ، يحوى حرارة = ٨١٠٠ كيلو كالورى
كل كجم من الايدروجين يتحول إلى بخار ٣٣٩٢٠ كيلو كالورى يمكن احتساب القيمة المطلوبة .

٥- حساب أقطار ودنات نفخ الهواء :

تتوقف قيمة قطر ودنة النفخ ، على كمية الهواء المطلوب للفرن كل دقيقة ، وعلى عدد الودنات ، وعلى ضغط الهواء اللاصق عند الودنات .

ولقد حدد علماء التصميم ، أقصى قيمة لكية الهواء المار خلال الستنتيمتر المربع من قطر الودنة / دقيقة بمقدار ٠,٤٥ سم^٣ وعليه فبمعرفة القيمة الإجمالية للهواء / دقيقة ، وبالقسمه ، يمكن تحديد مساحة الودنات الكلية ومن معرفة عددها (حسب قطر الفرن ص) يمكن حساب مساحة كل منها ، وبالتالي قطرها .

٦- حساب أقطار مواسير الهواء الساخن والبارد :

$$\text{الترح فورسي القانون التالى قطر الماسورة} = \frac{\text{طول الماسورة فى سرعة الهواء بها}}{25000 \times \text{قيمة انخفاض الضغط بها}}$$

وقدر انخفاض الضغط المقصود كالاتى :

٩٣ جم للشحنات

٩٣ جم فى مواسير الهواء البارد

٣١٠ جم في مواسير الهواء الساخن

بينما حدد سرعة الهواء البارد بحوالى ٣٠ متر / ثانية ، وسرعة الهواء الساخن بحوالى ٨٣ متر / ثانية (نتيجة زيادة الحجم بالتسخين) .

فإذا كان طول مواسير الهواء البارد ٤٨ مترا ، ومواسير الهواء الساخن ٣٨ مترا ، وبالتعويض في القانون ، ينتج أن قطر الأولى ٢٩ سم ، وقطر الثانية ٦٦ سم .

وعموما هنالك العديد من مؤثرات التشغيل التى يتم حسابها كروتين يومى بأقسام الأفران العالية ، منها على سبيل المثال وليس الحصر : درجة الحرارة النظرية والفعلية أمام الودنات ، قدرة الصهر للفرن . . . إلخ والتى لا يمكن حصرها فى مجالنا هذا .

حساب التكاليف :

بعد تحديد المعدلات من الاستهلاك والإنتاج لكل طن من الحديد الزهر المنتج ، وبمعرفة أسعار الوحدات لهذه ، يمكن حساب تكاليف إنتاج طن الحديد الزهر من الخامات . تضاف إليه بعد ذلك نوابت بقية الاستهلاكات من القوى المحركة ، والمصاريف الإدارية ، لينتج بعد ذلك سعر تكلفة فعلى لإنتاج طن الزهر بالفرن . وهو من أهم المؤثرات ، بل هو خلاصتها .

وفى اى تصميم بسيط لنموذج لإتمام هذه التكاليف :

مسلسل	الخامة أو المنتج	معدل الاستهلاك أو الإنتاج كجم / طن	سعر الوحدة	تكلفة الطن
١	خامات أولية : خام الحديد نسبة الفواقد إضافات حديدية الكوك فاقد الكوك قوى :			
٢	قوى كهربائية			

سلسل	الخامة أو المنتج	معدل الاستهلاك أو الإنتاج كجم / طن	سعر الوحدة	تكلفة الطن
٣	مياه بخار غازات أفران أو كوك . . الخ صيانة :			
٤	صيانة كهربائية وقطع غيار صيانة ميكانيكية وقطع غيار مصاريف إدارية مباشرة غير مباشرة			
٥	مخازن واستهلاكات مهمات أخرى وخامات إضافية استهلاكات تأمينات . . . الخ وإجمالي تكلفة المصروفات			
٦	عائدات : ... غاز القرن العالي ... خبث الحديد الناتج ... قاسيح الزهر الناتجة ... تراب الغازات إجمالي تكلفة المائد إجمالي تكلفة إنتاج الطن			

والحديث في هذا المجال مهما يطول ، فلن يوفى الموضوع حقه ، فاقتصاديات التشغيل المبينة على حسابات الاستهلاكات لها مؤلفات عديدة ، ولا يزال الباحثون يجدون فيها الكثير من نقاط البحث . ففترة لعدم الوصول إلى إرضاء رغبة القارىء ، وتنصح بالاطلاع . لتكتمل الصورة التي لا يمكن جمعها من مؤلف واحد ، خاصة إذا كان لهذا المؤلف هدف محدد .

الباب التاسع

الاتجاهات الحديثة في تشغيل الأفران العالية

يعكف العلماء والباحثون والمهتمون بتشغيل الأفران العالية واقتصادياتها على البحث عن أحسن الوسائل وأكثرها ملائمة لعملياتها، ومنذ أن استطاع العالم الألماني شنك، تحديد ثابت التعادل لتفاعلات اختزال أكاسيد الحديد، توالت الأبحاث، تكشف يوما بعد الآخر، عن التفاعلات الكيميائية والفيزيائية التي تتم بالأفران العالية، وتوضع العلاقات التي تحكمها وتربطها بعضها ببعض وكان هدف هذه الأبحاث في مبدئها علميا فقط ولكن مع تطور الصناعة، وانتقالها تدريجيا من مرحلة الفن إلى مرحلة التطبيق لتنتج النظريات في مجال الإنتاج، بدأ فعلا تطوير تشغيل الأفران العالية، وبدأ العلماء والباحثون والعاملون، مرحلة من تعاون صادق في البحث والتطبيق، وتحليل النتائج والتطوير، الأمر الذي أدى إلى تغيرات عديدة في تصميم الأفران ومعداتها، وفي طريقة تشغيلها، ومع بلوغ مرحلة المعرفة الكاملة بطرق التشغيل وبالتالي رقابة الإنتاج، بدأت مرحلة جديدة من مراحل البحث والتطبيق، لأحداث النظريات العلمية في التشغيل، سعيا وراء تحقيق الأهداف الاقتصادية، وعمر القرن العشرين في سنواته الأخيرة باستحداث العديد من الاتجاهات الحديثة في فن تشغيل الأفران العالية، شملت نواحي متعددة ومتباينة كان من أهمها:

(أ) الحد من شحن الحجر الجيري بالأفران وأن تستبدل به شحنات من الليد أو الحام المتوازن.

(ب) تشغيل الأفران العالية بضغط عال بالقيمة.

(ج) إدخال مواد عديدة إلى الأفران عن طريق الحقن، لزيادة كفاءتها أو لتحسين إقتصادياتها، مما أدى إلى استحداث حقن الأفران بالأكسجين أو المواد الهيدروكربونية سائلة كانت أم غازية أو صلبة، سعيا وراء إحلال جزء من الكوك المستخدم بكيرون هذه المواد.

(د) إدخال نظام الميكنة والتحكم الآلي في عمليات تشغيل الفرن أو معداته.

(هـ) معالجة الصيوب التي اكتشفت بتصميم الفرن أو معداته. واستحداث العديد من المعدات وأجهزة المراقبة والقياس التي تسهم في تحسين الأداء وتحقيق مؤثرات التشغيل المستهدفة.

وفى يل استعراض سريع مبسط لهذه الاتجاهات والنظريات التى بنيت عليها ، والمهدف منها وتنتاج تطبيقها عمليا .

١ - الحد من شحن الحجر الجيرى بالأفران :

يستخدم الحجر بالأفران العالية ، كمساعد صهر يتحدد بالشوائب غير المرغوب فيها مكونا مركبات كيميائية ثابتة ، تحت ظروف التشغيل السائدة بها ، وبذلك يمكن التخلص من نسبة عالية من كل من الكبريت ورماد الفحم وسيليكون الخام والكوك وجزء من المنجنيز ، حيث يساعد الحجر فى الحصول على تكوين محدد الصفات والمواصفات للخبث الناتج وبالتالي للحديد الزهر المنتج ، ولذا فالجبر أساسى فى شحنة الفرن العالى . و يشحن الحجر الجيرى بالأفران العالية كمصدر للجبر المطلوب ، غير أن لذلك العديد من المؤثرات الضارة بسير العمليات والتى تتخلص كالتالى :

١ - تحتاج عملية تحمل الحجر الجيرى حسب المعادلة التالية كاك أم ————— ك ١٠٠
كا ١ إلى كمية كبيرة من الحرارة تمتص ولا شك من حرارة المحيط الذى يتم فيه التفاعل .
لذا نجد أنه لابد من زيادة نسبة الكوك المستخدمة لتعويض الطاقة الحرارية المفقودة بمعنى زيادة المستهلك من الكوك .

٢ - إن غاز ثانى أكسيد الكربون المتولد نتيجة تحمل الحجر الجيرى ، يتسبب فى زيادة نسبة غاز ثانى أكسيد الكربون إلى أول أكسيد الكربون بغازات الأفران العالية الصاعدة خلال الشحنات ، ونتيجة لذلك تنخفض قدرة الغازات الاختزالية .

٣ - لما كان الحجر الجيرى المضاف يحتوى على نسبة من الجبر لاتزيد بكثير عادة على ٥٠% من الكمية المشحونة فإن ذلك يسبب كفاءة شحنة الفرن بالتالى زيادة حجم الفرن المقابل لإنتاج طن من المعدن . (إضافة كجم حجر جيرى يخفض الإنتاجية بمعدل ٠.٢ ر . ٠.٣ %)

٤ - نظرا للاختلاف بين خواص الحجر الجيرى وخواص بقية مكونات شحنة الأفران العالية ، فقد يحدث خلال مراحل هبوط الشحنة بالفرن ، أن يتجمع الحجر الجيرى بمنطقة ما بالفرن ، بقدر أكبر منه فى مناطق أخرى ، وبالتالي يتكون نوعان من الخبث : أحدهما ذو قاعدة أعلى منها فى الأخرى ، الأمر الذى يؤثر فى سير العمليات الميتالورجية بمنطقة بدء تكوين الخبث بالفرن ، تأثيرا غير مستحب .

٥ - فى وجود غاز ثانى أكسيد الكربون والحديد المختزل حديثا ، وفى درجات الحرارة

٤٥٠ الى ٥٠٠ م يتم التفاعل على النحو التالي ٢ ك ١ ك — ١ ك وفي وجود غاز ثاني أكسيد الكربون ودرجات الحرارة العالية ، يتم التفاعل في الاتجاه العكسي الذي يستهلك كربون الكوك مسببا زيادة في الإستهلاك ، خاصة وأن هذا التفاعل ماحص للحرارة . ويتقدم فن التشغيل للأفران العالية ، ووضوح هذه الآثار غير المستحبة ، ولتفادي آثارها الضارة ، اتجه التفكير الى ضرورة إيجاد وسيلة أخرى لإمداد الفرن بالجير مباشرة ، ولما كان الجير الحى هشاً ولا يمكن شحنه مباشرة بالأفران العالية ، أصبح من الواضح أنه لاسبيل الى تحقيق ذلك ، الا عن طريق ربط الجير طبيعياً أو كيميائياً الى الخام المشحون ، فظهرت عمليات التكوين والتطويع والتلييد التي انتشرت أخيراً ، وأن كانت تلك الطرق التي تحوى الجير كمركب كيميائى (وأهمها عمليات التلييد) أكثرها انتشاراً لمزاياها المتعددة من حيث كمية وحجم ونوعية المنتج .

ولقد أثبتت عمليات التشغيل ، أن استخدام اللييد ذى القاعدة المتعادلة بدلا من الخام بشحنات الأفران العالية ، قد زاد من إنتاجيتها بما يعادل ٢٠٪ وقلل من معدل الكوك المستخدم بنفس القدر تقريبا وكذا قلل من كميات أتربة الغازات ، بما يعادل ٤٠٪ من المعدل الأصلي .

(ب) تشغيل الأفران العالية بضغط عال بالقمة :

وكان ، وما زال ، وسيظل ، معدل استهلاك الكوك لإنتاج طن من الحديد الزهر ، أهم مؤثر من مؤثرات الأفران العالية ، حيث إذ أنه مؤثر في تكلفة الإنتاج وتهدف غالبية التطورات العالية في تجهيز وتشغيل الأفران العالية الى خفض هذا المعدل إلى أقل ما يمكن ، ولما كان هذا المعدل يتأثر بمدى استغلال غازات الأفران العالية المساعدة بالفرن وبسرعة تفاعلات اختزال أكاسيد الحديد وبالمواصفات الطبيعية لل خامات المشحونة ، وأخيرا بنسبة أتربة الغازات الهاربة من الفرن ، ولذا كان البحث عن وسيلة لخفض سرعة الغازات ، وخفض أثر الخواص الطبيعية لل خامات ، وخفض كمية أتربة الغازات المفقودة ، وتحسين وزيادة تفاعلات الإختزال ، شيئا هاما وضروريا ، ومن هنا بدأ التفكير في تشغيل الفرن بضغط عال بالقمة ، مما يؤدي الى تحقيق هذه الأهداف .

ولقد بدأت أبحاث تشغيل الأفران بضغط عال في الفترة قبل الحرب العالمية الثانية واستغرقت أكثر من ١٠ سنوات وتلخص الفكرة نظريا في الآتي :

١ - زيادة الضغط الذى تتعرض له الغازات داخل الفرن يتناقص حجمها بمقدار التغير فى الضغط المطلق الذى تتعرض له بمعنى أن :

$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

ويلزم تناقص أحجام هذه الغازات انخفاض فى برعتها ، وبالتالي زيادة فى زمن تلامس شعنة الفرن وهذه الغازات ، وبالتالي تحسن فى تجهيز الشحنة . (عند درجة حرارة ثابتة ودرجة لزوجة ثابتة للغازات)

٢ - أن مقدار الخفض فى ضغط الغاز خلال احتراق شحنات الفرن ، يتناسب عكسيا والفرق بين الضغوط المطابقة بأعلى الفرن وينطقة الودنات ، بمعنى : عند درجة حرارة ثابتة ودرجة لزوجة ثابتة للغازات .

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

وحيث أن ضغط الغاز بأعلى الأفران الكبيرة حاليا وضغطه أمام الودنات ، يصل حتى ١,١ ، ٢,٣ جوى على التوالى .

$$\therefore \text{الضغط المتوسط بالفرن} = \frac{1.1 + 2.3}{2} = 1.7 \text{ جوى}$$

فإذا زيد هذا الضغط الى ٢,٤ لأمكن حساب الفرن بين الضغط أمام « الودنات » وبأعلى الفرن حسب المعادلة :

$$\frac{P_1 V_1}{P_2 V_2} = \frac{1.7}{1.1 - 2.3} = 1.4$$

$\therefore P_2 = 0.85$ جوى وعليه يصبح الضغط أمام الودنات مساويا $2 + 0.85 = 2.85$ جوى . ويصبح متوسطه بالفرن مساويا $2.85 + 1.7 = 4.55$ جوى .

وعلى ذلك يلاحظ أن زيادة الضغط بقيمة الفرن من القيمة ١,١ الى ٢,٠٠ قد نجح عنه اختلاف بين ضغط القمة والودنات مساويا ٠,٨٥ جوى . أى أقل من الحالة العادية ، حيث كان فارق الضغط مساويا ١,٢ وبالتالي يمكن زيادة الإنتاج إذا رغب فى حفظ نفس الفرق فى الضغط بين أعلى الفرن والودنات ، غير أن ما يتطلبه ذلك من زيادة تآكل أجهزة الشحن وقوة الفرن قد حد الى حد بعيد من تحقيق هذا الهدف النظرى . ويستتبع هذا الخفض فى فرق ضغط القمة عن الودنات بزيادة الضغط بالقمة ، تحسين

توزيع الغازات بالفرن إنخفاض ارتفاع قم الشحنة ، كذلك زيادة ضغط الغازات بالأماكن التي كان منخفضا فيها من قبل وبالتالي تحسين عمليات الاختزال بالفرن .

ولما كان هذا الفارق يمثل القوة الدافعة لعمود الشحنة بالفرن ، وبالتالي فإن زيادة على قدر معين ، يؤدي الى تطبيق الشحنة بالفرن ، وخفضه يمنع هذا التصليق ، ويزيد من سرعة هبوطها على الجوانب ، وانخفاض هذه السرعة في منتصف الفرن . لذا يجب مراقبته قلما وتثبيت قيمته ما أمكن ذلك الشكل .

وكما يؤدي هذا التشغيل الى تحسين توزيع الشحنة على سطح الفرن ، وينتج العاملون بالأفران ، فرصة لزيادة كفاءة تشغيلها ، بزيادة كمية النفخ ، أو رفع درجة الحرارة للهواء اللائح ، أو زيادة نسبة الأوكسجين به ... الخ .

٣- إن الاختزال غير المباشر بالفرن ، يتم في حقيقته على خطوتين (ص ٩٦) :



وحيث أن التفاعل بالخطوة الأولى يتم بالانتشار ، الذي تعتمد سرعته على مقدار معامل الانتشار للغازات المختزلة الذي ينخفض بدورة زيادة الضغط ، وبالتالي تنخفض سرعة التفاعل من ناحية ومن ناحية أخرى فحيث أن سرعة التفاعل تعتمد على الضغط الجزئي للغازات المختزلة ، والذي يزيد بزيادة الضغط ، وبالتالي تزداد سرعة التفاعل نجد أنه يؤثر في سرعة هذا التفاعل مؤثران يعملان في اتجاهين مختلفين ، وحتى يستطيع المؤثر الثاني التغلب على تأثير الأول ، زيادة الضغط الى ١٠ جوى ، الأمر الذي يصعب تحقيقه في عمليات الأفران العالية ومن ثم فعملية زيادة ضغط القمة بالأفران العالية ، لا تؤثر إطلاقا في زيادة سرعة الاختزال الغير المباشر وإن كان نتيجة لتحسين تجهيز الشحنة ، لتحسين عمليات الاختزال غير المباشر تبعاً لها .

أما الخطوة الثانية في التفاعل ، فيلاحظ أن زيادة الضغط (تبعاً لقانون لي شاتليه) يزيد من سرعة التفاعل في الاتجاه العكسي وبالتالي يخفض من الاختزال المباشر ومن فقد الكوك والمحرارة .

وتتم عملية زيادة الضغط بأعلى القمة عن طريق تركيب خائق لمواسير الغاز التنظيف ، أعقب مجمعات الأثرية والحلزونات ، وقبل المبردات ومحطة التفتية ، وبالتحكم في حركة هذا الخائق الذي قد يكون على هيئة لوح رأسى ، يعترض مرور الغازات وبمقدار ميله عن الاتجاه الرأسى ، يسمح بمرور الغاز ، وقد يكون على هيئة قرص متحرك من مجموعة أقراص مختلفة الأقطار ، تفتح تباعا ، للسماح بالكية المهددة من الغازات بالمرور ، تصبح المنطقة من هذا الخائق ، وحق ودنات النفخ ، تحت تأثير الضغط المضاد .

ولقد شكل تنفيذ هذا التطوير العديد من مشاكل التصميم لمعدات الشحن ، ولعدات قة الفرن وخاصة في تصميم بوابات الانفجار والمخاميس على مجمعات الأثرية والحلزونات وكذا تمر التعادل الجانبى الذى يوصل الغاز النقى المضغوط الى المكان المصنوع بين الجرسين ، ليزيد الضغط فيه ، حتى يتمدى الضغط المعرض له الجرس الكبير من داخل الفرن ، فيفتح الجرس الكبير ، وتهبط الشحنة ، ويتم إغلاق الغاز المضغوط ، فيخلق الجرس تحت تأثير ضغط الغازات الصاعدة من الفرن ، أما الجرس الصغير فيفتح عاديا ، ويدون مشاكل .

ويتم تشغيل الفرن بضغط عال بالقمة ، زيادة كمية الغازات الصاعدة بجوار جدار الفرن ، وبالتالي يلزم إجراء تجارب عديدة ، إلى أن يتم حتى الحصول على نظام الشحن الذى يضمن توزيع الغازات الصاعدة على قطاع الفرن ، وحسن توزيع هبوط الشحنات على مقطع الفرن ، وبالتالي سرعة هبوط الشحنات بجوار الجدار كما سبق ذكره . ولقد حقق إدخال هذا التطوير نتائج طيبة ، فزاد الإنتاج بالأفران الأمريكية بنسبة ٧.٥ - ١٥% وفى الأفران الإنجليزية بنسبة ١٢ % وفى الاتحاد السوفى بنسبة ٩%

ونظرا إلى النتائج الطيبة التى حققها هذا الاتجاه فإن غالبية الأفران فى البلدان المتقدمة تعمل حاليا بضغط عال فى القمة .

(ج) إدخال مواد عديدة إلى الأفران عن طريق الحقن :

تسمى التكنولوجيا الحديثة التى يساعدها التقدم العلمى المطرد إلى إفساح مجال التطبيق العلمى بالعديد من النظريات العملية المتطورة ، بحثا وراء تحقيق أهداف اقتصادية ، والوصول إلى تشغيل يسهل التحكم والسيطرة عليه . وكنيجة لذلك ، تعرضت الأفران العالية - كغيرها من وحدات الإنتاج - للعديد من التجارب والأبحاث ، وكانت عملية حقن الأفران العالية بالعديد من المواد وتقييم نتائج إضافتها ، من أهم هذه التجارب ، وأكثرها عمقا وأثرا ، وأضيفت عن طريق الحقن إلى الأفران المركبات الهيدروكربونية كالفاز

الطبيعي ، والمأزوت ، وأضيف الكوك والجير ، وأضيف الأوكسيجين . الخ وكل من هذه الإضافات كان تستهدف هدفا محددًا يحقق النتائج الاقتصادية أو العملية السابقة ذكرها . وفي ما يلي نتعرض لكل على حدة لمحاولين اللقاء على الآثار المترتبة على استخدامه .

(ج) ١ - حقن الأفران العالية بالأوكسيجين :

تتلخص عملية تنقية الأفران العالية ، في اختزال أكاسيد الحديد بفاز أول أكسيد الكربون الناتج عن الاحتراق غير الكامل لكربون الكوك المضاد بالشحنة ، بأوكسيجين الهواء الجوي ، بعد رفع درجة حرارة الأخير الى درجة حرارة ملائمة بمعنى أنه بتوفير الأوكسيجين يمكن زيادة كمية الكوك المحترقة في زمن معين ، ولما كان تفاعل الاختزال يتوقف على القدرة الاختزالية لفازات الأفران العالية ، وبالتالي نسبة أكسيد الكربون بها ، فعليه يمكن زيادة الاختزال بزيادة نسبة غاز الأوكسيجين في الهواء اللاصق الداخل للفرن . هذا بالإضافة الى أنه عندما يستخدم الأوكسيجين تقل نسبة النتروجين في هذه الفازات . وتزايد بالتالي نسبة أول أكسيد الكربون بها ، ويتحسن الاختزال .

وحيث أن احتراق الكربون في مستوى ودنات نفخ الهواء الاختزال يولد حرارة ترفع درجة حرارة ناتج الاحتراق والمنطقة المحيطة ، الى ما يسمى بدرجة حرارة بودقة الصهر النظرية ، ويمثل الفارق بين الحرارة المتولدة هذه والحرارة المحرقة لبودقة الصهر ، والتي يحتاجها الخبث المتكون ليكون في حالة سيولة ، كاملة والتي تعتبر مقياساً لقدرة الصهر بالفرن ، فإنه باستعمال هواء لافح يحوى نسبة من الأوكسيجين أعلى من ٢١ ٪ وبالتالي خفض نسبة النتروجين به ، يترتب عليه الإقلال من الحرارة الكامنة بالفازات الصاعدة عند درجة الحرارة المحرقة لبودقة الصهر ، ويزيد هذا الفارق ، وتحسن قدرة الفرن على الصهر ، كما أن إضافة الأوكسيجين تحسن من ظروف الاحتراق بالمنطقة أمام الودنات ، وبالتالي ترتفع درجة الحرارة في منطقة الأكسدة .

ولما كانت كمية ناتج الاحتراق لكل وحدة من الكربون ، تصبح أقل منها في الظروف العادية مما يتولد عنه خفض في حجم الفازات ، وبالتالي خفض شبعتها ، وكذا خفض فارق ضغط الفازات بين القمة ومستوى الودنات ، وعليه يتحسن التبادل الحرارى بين الفازات الصاعدة والشحنات الهابطة ، فيتحسن تجهيزها واختزالها ، مما يترتب عنه خفض درجة الحرارة للغاز عند القمة وغير كبير في تحاليله .

وتسبب كل التغيرات السابقة مجتمعة ، في رفع إمكانية زيادة قدرة الفرن على الصهر ، أو إمكانية حقنها بالركبات الهيدروكربونية ، وبالتالي تحقيق خفض في معدلات استهلاك الكوك .

هذا فيما يختص بأوجه الاستفادة من حقن الأوكسيجين بالفرن العالي ، ولكن يقابل ذلك من ناحية أخرى ، بعض المواقف ، يمكن تلخيصها فيما يلي :

١ - يتسبب تركيز الحرارة في البوتقة وخفض منطقة الأكسدة ، في ميل شعنة الفرن الى التعليق .

٢ - خفض كمية الحرارة الداخلة الى الفرن ، لخفض كمية التروچين .

٣ - تنخفض درجة حرارة الفلزات في المستويات العليا من الأفران لانخفاض كمية الفلزات المقابلة لوحدة الكربون المحترقة .

٤ - ارتفاع تكاليف الحصول على الأوكسيجين اللازم .

ولقد وجد أن إضافة الأوكسيجين وبالتالي رفع كمية الحزارة الفائضة ببوتقة الصهر ، يساعد كثيرا في عمليات الحصول على بعض سبائك الحديد الخاصة ، كالفيرومنجنيز ، والفيروسيليكون ، وحديد السابك ، والتي يتطلب انتاجها اختزال بعض المعادن صعبة الاختزال ، والتي لا يتم اختزالها عادة الا في درجات الحرارة العالية ، فثلا حققت زيادة الأوكسيجين بالهواء اللافح الى ٣٠,٥% زيادة انتاجية الفيرومنجنيز ، الى مايعادل ٩٠% من الإنتاج الأصل وكذا زادت انتاجية الأفران لإنتاج الفيروسيليكون بنسبة ١٠% بزيادة الأوكسيجين الى ٢٦,٥% وتصل الزيادة حتى ٥٣% عند زيادة الأوكسيجين الى ٣٠% وينخفض معدل استهلاك الكوك عندئذ بما يعادل ١٦% .

أما في حالة انتاج حديد المسابك ، فلقد زادت انتاجية الفرن بمقدار ١٥% وانخفض معدل استهلاك الكوك بمقدار ٣,٧% عند رفع كمية الأوكسيجين بالهواء اللافح الى ٢٥% . ونظرا لزيادة التكاليف الناجمة عن ارتفاع تكلفة الحصول على الأوكسيجين مقارنة بالخفض المحدود من الكوك وانتهت التكنولوجيا الحديثة الى ربط استخدام الأوكسيجين باستخدام الغاز الطبيعي ، لتحقيق خفض في معدل استهلاك الكوك ، وتعادل في التكاليف .

(ج) ٢ - حقن الفرن بالمواد الهيدروكربونية :

يؤدي كربون الكوك المشحون بالأفران العالية وظائف ثلاث رئيسية هي :

١- توفير الطاقة الحرارية اللازمة نتيجة احتراقه بأوكسجين الهواء اللافح .

٢- الحصول على غاز أول أكسيد الكربون اللازم لعمليات الاختزال .

٣- كربنة المعدن .

ونظرا لأن معدل استهلاك الكوك - وكما سبقت الإشارة - يلعب دورا رئيسيا في تكلفة الإنتاج الحديد الزهر بالأفران العالية ، ونظرا للتسابق المحموم الذى عم - وبعم - العالم في مجال إنتاج الكوك الميتالورجى مما سبب اطراد تناقص الفحم الجيد القابل للتكويك ، مما يحدد مستقبل الصناعات الثقيلة ، فلقد عكف العديد من الباحثين والعلماء على إيجاد حل للمشكلة قبل تفاقمها ، وكان أن ظهر تكتيك حقن الأفران بالمواد الهيدروكربونية كوسيلة لاستبدال جزئى لكربون الكوك ، والاستفادة من الغازات المتولدة عن تحللها ، أهمها الهيدروجين في عمليات الاختزال وبدأت عمليات حقن الغاز الطبيعى ، وغاز الكوك والمازوت ، تجتذب اهتمام الدول التى لم تمنحها الطبيعة مصادر لإنتاج الكوك الميتالورجى .

وتتم عمليات الحقن جميعها غالبا عن طريق ضغط المادة الهيدروكربونية خلال مواسير تدخل من فتحات جانبية بجواسير النفخ ، أو من فتحة نظارات الودنات ، إذ يساعد الهواء اللافح الداخلى الى الفرن ، في تذرية هذه المواد ، وبالتالي احتراقها في مستوى الودنات وتستعرضها فيما يلى محددى الأثر الناتج عن استخدام كل نوع منها على حدة .

(ج) ١-٢ - حقن الفرن بالغاز الطبيعى .

يمضى الغاز الطبيعى نسبة عالية من غاز الميثان (ك يد) ، والذى يتأكسد بأوكسجين الهواء اللافح أمام الودنات ، الى الماء وثانى أكسيد الكربون ، اللذين لا يلثان في وجود الكوك المتوهج - أن يختزل مخلفين غاز الهيدروجين ، وأول أكسيد الكربون ، ولما كانت الحرارة المتولدة في هذه الحال أقل بكثير من الحرارة التى تنجم عن احتراق كربون الكوك ، فإنه يتبع هذا التفاعل ، أن تنخفض درجة حرارة منطقة الاحتراق ، وكذا درجة حرارة بوتقة الصهر ، لأن كمية الغازات المتولدة نتيجة التفاعل لكل وحدة كربون محترقة ، تتضاعف تقريبا . (في احتراق ١ كجم كربون كوك ، يتولد ٤.٥م^٣ من الغاز وعند احتراق ١ كجم من كربون الغاز الطبيعى ، يتولد ١١.٩م^٣)

ولما كانت زيادة الغازات هذه سوف تتبعها زيادة في سبرعتها داخل الفرن ، وكذلك يتبعها زيادة في فارق الضغط بين القمة وبوتقة الصهر ، الأمر الذى يؤثر ولاشك في مدى الاستفادة من الحرارة الكامنة بهذه الغازات في تجهيز الشحنة المانطة ، وكذا يؤثر على معدل

هبوط الشحنات ، وعلى مدى انتظام وتناسق هذا الهبوط ، تتضح ضرورة خفض معدل استهلاك الهواء اللافح ، عند حقن الغاز الطبيعي ، مع رفع درجة حرارته ، وذلك للحفاظ على درجة حرارة بوتقة الصهر وبالتالي على قدرة الفرن على الصهر .

ولقد وجد علميا ، أن درجة حرارة الهواء اللافح يجب أن ترتفع بما يعادل ٤ درجات لكل متر مكعب من الغاز الطبيعي لكل طن من المعدن ، وأن مقدار الهواء اللافح يعادل ٦٥م^٣ غاز ويبلغ هذا المقدار عند استعمال حقن الأوكسيجين بواقع ١,٣م^٣/م^٣ من الغاز ، حوالى ٣,٨ م^٣ غاز .

و يتم في نفس الوقت ، وتحت نفس الظروف من الحرارة العالية ووجود بخار الماء وغاز أول أكسيد الكربون ، تفاعل هام يسمى تفاعل (الماء والغاز) على النحو التالى :



كما ذكر آنفا ، يتضح أن الغازات الموجودة أمام الودنات عند حقن الغاز الطبيعي ، تحوى نسبة عالية من الهيدروجين وتنخفض تبعاً لذلك نسبياً نسبة غاز أول أكسيد الكربون والنروجين في الغازات المتصاعدة ، ولما كانت للهيدروجين قدرة كبيرة على اختزال أكاسيد المعدن ، وأن ذلك يؤدي الى زيادة نسبة الاختزال غير المباشر بالفرن وتناقص الاختزال المباشر فإن التأثير على الميزان الحرارى للفرن ، سيكون إيجابيا ، وسيوفر زيادة في الحرارة في المستويات المنخفضة من الفرن ، وبالتالي خفضاً في استهلاك الكوك ، وزيادة في كفاءة تشغيل الفرن ، والتي يؤثر عليها في نفس الوقت عاملان متضادان في التأثير ، أحدهما يزيد من هذه الكفاءة كنتيجة لانخفاض الكوك المستهلك والآخر يقلل من هذا الاثر نتيجة انخفاض قدرة الفرن على الصهر ولذا فإن إضافة الغاز الطبيعي بمعدل ٧٥% الى ١٣٥ م^٣/طن من المعدن يرفع من كفاءة الفرن بنسبة ٢,٩% فقط وهذه النسبة ترفع بقدر كبير عند حقن الأوكسيجين والمازوت معا للأسباب المذكورة من قبل لتصل بنفس معدل حقن الغاز وبإضافة ٥٠ م^٣ طن من الأوكسيجين إلى ٩% ويلازم ذلك خفض في الكوك المستخدم بما يعادل ١٦ - ١٧ %

ومن الحديث السابق ، يتضح أن حقن الغاز الطبيعي البارد في الكوك يؤدي الى استهلاك كميات كبيرة من الحرارة (٢٥٠٠ كالورى/م^٣ من لميثان) نتيجة تحلله ورفع درجة حرارة ناتج التحلل الى درجة حرارة المنطقة ولهذا فلقد فكر الباحثون في تسخين الغاز قبل حقنه لدرجة لا تتعدى ٦٠٠°م حتى لا يتحلل الميثان الى كربون وهيدروجين ، ثم حقنه بعد ذلك ،

الأمر الذي يمكن من زيادة الكمية المحقونة بما يعادل ٠,٥٪ من حجم الهواء اللاقح المستخدم، ولقد وجد أخيراً أنه من الأفضل رفع درجة حرارة الهواء اللاقح، بدلاً من تسخين الغاز الطبيعي.

غاز الكوك:

تتولد عن عملية التخليط الإلزامي للفحم بمصانع الكوك كميات كبيرة من غازات الكوك. ومن تحاليلها، نجد أنها تحوى نسبة عالية من الهيدروجين الحر والمتحد، ولهذا، ولنفس الأسباب المذكورة التي دعت إلى استخدام الغاز الطبيعي بالأفران نشأ اتجاه حديث يرمى إلى حقن هذه الغازات بالفرن العالي، غير أنه لانخفاض نسبة الميثان في غاز الكوك، فإن هذا الغاز يحتاج إلى حرارة أقل لتفتيته ولهذا فعند حقنه بالأفران، فإنه يمكن استخدام هواء لاقح بدرجة حرارة أقل، ولا يتعدى رفع درجة حرارة الهواء اللاقح لمقابلة احتياج حقن غاز الكوك أكثر من ١٥ إلى ٢٠° لكل ١٪ من الغاز.

ولما كانت كمية الهيدروجين بغاز الكوك تبلغ تقريباً ربع الكمية الموجودة بالغاز الطبيعي، فإن مدى استغلال الهيدروجين في هذه الحالة، أقل من سابقه.

ويعترض عملية حقن الأفران بغاز الكوك، صعوبات خاصة بتخليص الغاز من بعض المركبات كالثقلين، وذلك حتى لا يتسبب في تكوين الخبث عند نهاية مواسير نفخ الغاز بالإضافة إلى ضرورة رفع ضغطه قبل الاستعمال.

وعلى ذلك فقد قللت هذه المتاعب من الحماس الذي صاحب حقن غاز الكوك في بداية تشغيله حتى إن الاتحاد السوفيتي لم يجرب هذا الاتجاه إلا في مصنع واحد، هو مصنع كوزنيتسك ولقد أثبتت نتائج التجربة أن حقن كمية من الغاز تصل إلى ٢٦٨ م^٣/طن من الحديد، قد رفع إنتاجية الفرن بنسبة ٤,٢٪، وخفض معدل استهلاك الكوك بنسبة ٩,٦٪ وكانت قيمة الإحلال حوالي ٠,٦١ كجم كوك/م^٣ من الغاز.

حقن الأفران العالية بالمازوت:

منذ عام ١٩٥٧ بدأت بعض الدول المتقدمة في حقن الأفران العالية بالمازوت، وتحملت شركات البترول، بإمكانات البحث الكبيرة المتاحة لها، لتطبيق هذا الاتجاه الحديث وتعميمه. ونتيجة لذلك، أمكن حقن المازوت في أمريكا، وإنجلترا، وفرنسا، واليابان، وألمانيا، والاتحاد السوفيتي، وكانت أولى تجارب الاتحاد السوفيتي بمصانع ماجنيتوجورسك عام ١٩٥٨. الخ وقد لاقى هذا الاتجاه الحديث رواجاً كبيراً في البلدان التي لم يتوفر فيها

الغاز الطبيعي ، وفي جمهورية مصر العربية ، تم إدخال حقن المازوت بأفران شركة الحديد والصلب في عام ١٩٦٦ .

وفي بدء تجارب الحقن ، كان المازوت يدخل في مواسير الهواء الساخن ، ومنها الى الفرن ، غير أن عدم الاطمئنان الى سلامة وتناسق التوزيع ، أدى الى التفكير في حقن المازوت عن طريق مواسير خاصة ورشاشات ، تساعد على عملية التذير وتكوين نهايتها عند مسافات معينة من نهاية الودنات حتى لاتتأثر مياه تبريد الودنات والمبردات ، بالحرارة الناجمة عن احتراق المازوت .

- ولقد اختلفت الكميات المحقونة باختلاف أماكن التشغيل ، وطاقة الأفران وكميات هواء النفخ ، ودرجة حرارة الهواء الالاقح المستخدم ، وكانت معدلات الاحلال ومؤشرات الأداء متباينة ، نظرا لاختلاف ظروف التشغيل بكل مصنع ، كما هو موضح بالمجدول التالي :

مصنع حلوان ج. ٢٠٠ ع.	المصانع الأمريكية	مصانع الاتحاد السوفيتي				المؤشرات
		ماجيناجورسلف	شيريديوفيتش	زياروجيا	تشيكراف	
٧٠ - ٦٠ ٤٠	٣٤ ٦٠	٣٠ - ٢٠ -	٣٠ ٧٠	٥٦ ٢٩	٨٠ ٩٠٧	كمية المازوت كجم / طن من المصن زيادة درجة حرارة الهواء نقص معدل استهلاك الكوك زيادة الانتاج نسبة الاحلال كجم / كوك لكل كجم مازوت
١٦ - ١٣	٢٠٢	٨ - ٥	٢٠٥	١٤٦	%٥٧٨	

ورغم ارتفاع نسبة الكبريت بالمازوت عامة، إلا أن هذا الكبريت الذى يبلغ من ١٠ إلى ٢٠ مرة قدر كمية الكبريت التى تضاف عن طريق الكوك المشحون لا تتسبب فى رفع نسبته فى الحديد الزهر المنتج بالتدوير المملوح، مما يدل على أن الكبريت المضاف فى هذه المنطقة المرتفعة الحرارة، يتأكسد إلى غاز ثنائى أكسيد الكبريت، ويفادر مع الغازات الخارجة، أو مع الحث متحدا بمكوناته.

ولقد لوحظ من استخدام المازوت مع شحنات مختلفة للأفران، أن نسبة الإحلال تتناسب ومدى تجهيز وكفاءة الشحنة المستخدمة تناسبا عكسيا كما أن هذه النسبة ترتفع مع معدلات الإستهلاك القابلة من المازوت.

حقن الأفران العالية بالمواد الصلبة :

لم تقتصر عملية حقن الأفران بإضافات للتأثير على اقتصاديات التشغيل بها وتطويرها على استخدام المواد السائلة أو الغازية كما ذكر آنفا، ولكن تعداها إلى الحقن للمواد الصلبة، بعد طحنها كساحيق أو على هيئة وحل، ونذكر كمنال مايل :

١- حقن الأفران بالوقود الصلب :

بالنظر إلى ارتفاع أسعار الكوك الميتالورجى، وإلى توافر بعض أنواع الفحم التى لاتصلح لعمليات التوكيك، ولما كان جزء من الكوك المستخدم بالأفران، يستخدم بفرض توفير الطاقة الحرارية اللازمة فإن انجهاها ظهر وتمت تجربته بهدف إلى استبدال جزء من الكوك المستغل لتوليد الطاقة الحرارية، وذلك بأحراق كربون هذه الفحمات التى يتم طحنها إلى مساحيق تحقن من الودنات مباشرة، إلى منطقة الصهر، ولما كان الكوك المشحون يصل إلى هذه المنطقة من الفرن بدرجة حرارة عالية، فإن حقن الوقود الصلب يتبعه رفع درجة حرارته إلى هذه الدرجة، الأمر الذى يؤدي إلى خفض معدل الإحلال إذ أن جزءا من الوقود المحقون سوف يستغل لهذا التسخين، ولهذا نجد أن معدل الإحلال ٥٠% فى الاتحاد السوفيتى و٤٠% فى ألمانيا الغربية، ولا يزال هذا الأمر موضع أبحاث للتطوير، ولم يطبق بصورة أكثر شولا، نظرا لبعض المتاعب الخاصة بتصميم المعدات، ويفكر بعضهم حاليا، فى الجمع بين المازوت والكوك معا عند الحقن.

حقن الأفران بالجير :

إن موضوع حقن مسحوق الجير بالأفران، دعا إليه المشتغلون بالأفران، لتلاقي مايسببه

وجود الحجر الجيري في شحنة الأفران من زيادة استهلاك الكوك ومن التأثير على معدلات هبوط الشحنات وتناسقه ، وكذا على عملية تكوين الخبث المبدئي ، بالإضافة الى الرغبة في تحسين عملية التخلص من الكبريت العالي بالمعدن . إلا أن التكنولوجيا الحديثة ، التي تدعو الى التوسع في استعمال اللييد المتوازن ، قللت من الاهتمام بهذا النوع من الحقن ، خاصة وأن التأثير على إزالة الكبريت لم يكن فعالا بالأفران التي تمت بها التجربة في الولايات المتحدة ، وعليه لانتقل العملية حاليا إهتماما كبيرا .

(د) ميكنة الأفران ومعدلاتها وعملياتها :

تميز العصر الحديث بالبحث الدائم الهادف لتحسين جودة الإنتاج في مختلف القطاعات الصناعية وتطوير الاقتصاديات للعمليات الإنتاجية وإبعادها مأمكناً عن العوامل التي تؤثر في منتجها ومن هذه المؤثرات ، تلك التي تنجم عن اختلاف الخبرات ، ومدى التجارب ، واتخاذ القرارات لدى العاملين ، وعليه بدئ في تحليل العمليات الإنتاجية ، وربطها بعضها بالآخر تبعاً لنتائجها التي تترتب عنها مؤثرات معينة يمكن استخدامها كإشارة بدء لإتمام بعض التغيرات في عمليات التشغيل ، والتي تتم حينئذ أوتوماتيكياً .

وكانت لزاماً ولا شك ، أن يأخذ المهتمون بتطوير عمليات الأفران العالية بالاتجاه الحديث فحددوا لإتمام ذلك اتجاهين هما :

١ - ميكنة خطوات التشغيل .

٢ - ميكنة معدات تشييل الأفران العالية .

ونورد فيما يلي بعض الأمثلة لميكنة خطوات التشغيل :

التحكم في عمليات شحن الأفران العالية :

تستخدم في عمليات إمداد شحنات الفرن من الخامات المشوبة في الصوامع ، عربات ميزان ، يتم بواسطتها تجميع مكونات الشحنة حسب وزن كل منها ، والمحدد من قبل ، وبالترتيب الذي يحدد وضعها بعدئذ بالفرن ، لتفرغ في عربات الشحن ، ويقوم عامل أو أكثر ، بتشغيل هذه العربات تحت ظروف ضارة بالصحة ، وبالتالي بنفسية العامل ، وربما يترتب على ذلك أخطاء في وزن المكونات المختلفة ، مما تنجم عنه أضرار جسيمة بالتشغيل ، واذ كانت لم تتم حتى الآن إمكانية ميكنة هذه العربات ، فقد انتشر حالياً تطور جديد ، يهدف الى استخدام السيور الناقلة التي يسهل التحكم فيها أوتوماتيكياً ، وبما يضمن تلافى

مثل هذه الأخطاء إذ تتحرك هذه السيور فتجتمع المكونات بالوزن المحدد لتنتقل الى عربات شحن الفرن، وتعمل هذه المعدات بكفاءة عالية في العديد من المصانع، مثل مصنع كريفوى روج، وكوزيتسك ومجنيتوجورسيك، بالاتحاد السوفيتي، وأفران الحديد بالمصانع الجديدة للحديد والصلب وقد استغنت بعض بلدان العالم عن استخدام عربات الشحن نهائيا، بحيث أصبحت الأفران تشحن بالسيور مباشرة، وكما هي الحال في مصنع موتوزاند باليابان.

التحكم في عمليات بوتقة الصهر:

يمكن بالتغيير في كميات هواء النفخ بالودنات، إحداث العديد من التغييرات بمنطقة الصهر، وما يستلزمها تحسين الأداء، ولقد وجد أن عدم انتظام هبوط الشحنات، أو عدم تناسق حجم المشحونات، يؤدي الى عدم انتظام عملية الصهر، وحتى يمكن تجنب ذلك، يجب التحكم في توزيع الهواء اللائح على الودنات، أو بذلك يمكن أيضا توزيع أية إضافات من الغاز الطبيعي أو الأوكسيجين أو المازوت، بما يناسب هذه الكمية لكل ودنة، ويتم ذلك بتركيب فلنشة متحركة في الكوع الكبير، ولكل ودنة لقياس كمية الهواء المستهلك بها، كما يوجد بكل كوع، صمام خائق للتحكم في الكمية المسموح بمرورها، وتنتقل هذه القياسات إلى أجهزة التسجيل، ثم الى العقول الإلكترونية، فتصدر هذه إشارات كهربائية الى البلوف المختلفة التنسيق هذه بين الكميات المستهلكة بالودنات، والكميات اللازمة للصهر، فإذا زادت الكمية المسجلة المقابلة على المقدار المحدد، كان ذلك إيذانا بيده تكوين مناطق تقل بها الإضافات المحقونة، والعكس ومن ثم تتدخل العقول الالكترونية في إعادة التوزيع وهكذا.

التحكم في فارق الضغط بين القمة وبوتقة الصهر:

يتطلب نظام هبوط الشحنات داخل الفرن، وجود فرق محدد لكل فرق بين ضغطي الغاز بالقمة، وضغطه في بوتقة الصهر، فإذا حدث وقلت المسامية للشحنات، بحيث أصبحت تعترض مرور الغازات، تعطى الإشارة الأوتوماتيكية لتخفيض كمية النفخ، أو تخفيض درجة حرارة الهواء اللائح، للتغلب على ذلك وكذلك فإنه انخفض الضغط عند بوتقة الصهر، أعطيت الإشارة لرفع درجة حرارة هواء النفخ، أو زيادة كميته أما إذا انخفض الضغط بالقمة أعطيت الإشارة لتعديل نظام الشحن، أو توزيع الشحنات.

ميكنة عملية توزيع الشحن بأعلى الفرن :

وقد تمت ميكنتها بطريقتين :-

١ - قياس درجة حرارة غازات الأفران الصاعدة الى جوار جوانب الفرن ، من غاي نقط قياس موزعة على مقطع الفرن وفي أعلاه ، حيث ترسل هذه بعد ذلك هزات كهربائية الى موزع شحنات تتحكم في دورانه ، ثم في فتح الجرس الكبير . فتبسط الشحنة في المكان الذي ترتفع فيه درجة الحرارة أكثر من زميلاتها ، وهكذا بما يضمن دواما حسن توزيع الشحنة ، ومسار الغازات الصاعدة

٢ - قياس درجة حرارة الغازات الصاعدة على أبعاد مختلفة من منتصف الفرن ، وعلى قطر معين ، وبالتالي تخرج الاشارة لتغير من نظام الشحن ، بما يكفل حسن توزيع المشحونات على سطح قطاع الفرن .

التحكم في حالة الفرن الحرارية ، بالهيمنة على التوازن الحرارى بأجزائها المختلفة :

بتحليل غاز القمة ، ومعرفة نسبة غاز أول وثاني أكسيد الكربون ، ومتابعة التغيرات التي تحدث لها ، يمكن الحكم على مدى نشاط الاختزال المباشر أو غير المباشر وبالتالي التكهن بما ستصبح عليه حالة الفرن الحرارية بعد فترة من الزمن ، لأن الزيادة في نسبة غاز أول أكسيد الكربون ، والتي لا يقابلها نقص مماثل في نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون ، تكون دليلا على تزايد الاختزال المباشر ، الذي يمتص طاقة حرارية ، ولذلك يجب زيادة معدل استهلاك الكوك بالفرن ، أو رفع درجة حرارة الهواء الالافخ ، لمقابلة هذا الاحتياج ، قبل أن يتسبب ذلك في برودة منطقة الاختزال المباشرة أما إذا كان تغير نسبتي الغازين بنفس القدر « زيادة غاز أول أكسيد الكربون » = انخفاض في غاز ثاني أكسيد الكربون (كان ذلك دليلا على تغيير الاختزال غير المباشر ، وبالتالي ما يتبعه من تغيير حرارى بالفرن .

وقد تم تركيب مثل هذه الأجهزة بمصانع هولندا (أكميدون) ، واليابان (نيبون كاكان) ، وفي روسيا (دنيروزرجنسك) .

كل ما ذكر آنفا ، يعتبر أمثلة لميكنة خطوات التشغيل بالأفران الصالية ، أما ميكنة الأفران العالية نفسها أو معداتها ، فلقد أمكن ، وبنفس الأسلوب ، الربط بين النتائج التي تسجلها أجهزة القياس والمراقبة بالفرن ، والتي تسجل حاليا باستخدام أجهزة الحاسبات

الإلكترونية ، التي تقوم بتحليلها ، وتقوم على الفور بالإبلاغ عن أى عدم انتظام أو اختلال فى أداء الوحدة ، ومن ثم تتولى إصدار تعليمات محددة ، فى صورة إشارات كهربائية ، إلى الأجهزة المساعدة ، محددة نوع التغيرات فى الشحنة ، أو كمية الهواء اللائق ، أو نظام الشحن ... الخ .

وفى يلى بعض هذه المعدات ، التى أمكن تشغيلها آليا ، وهى : موزع الشحنات الدائرى ، وبعض أجهزة الشحن ، وأجهزة التحكم فى كمية الرطوبة فى الهواء اللائق وفى درجة حرارة الغاز بالقمة ، وبلوف الهواء بالكوابر ، والتغير من وضع التسخين إلى وضع التبريد بالمسختات .

ولا يزال العلماء يتطلعون إلى المزيد من الربط بين عمليات الأفران ، والأجهزة التى تقوم بأدائها ، فى محاولات لمساعدة العاملين فى اتخاذ القرارات فى الوقت المناسب ، كمحاولة التغلب على اختلاف تحليل الخامات المستخدمة وأحجامها ، والتى منها كانت عمليات التجهيز متكاملة ، فلن يمكن القضاء عليها نهائيا .

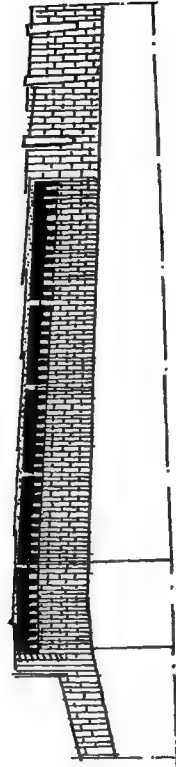
(٥) معالجة العيوب التى اكتشفت بتصميم الفرن أو معداته :

فى مجال الحديث عن تطور فن تشغيل الأفران الآلية ، ونظرا لضيق المجال والمكان ، فإنه لا يسعنا إلا أن نلخص فيما يلى ، بعضا من التحسينات والتعديلات التى أُضيفت إلى الأفران أو الوحدات المساعدة ، بحثنا وراء الوصول بها إلى أعلى كفاءة أداء .

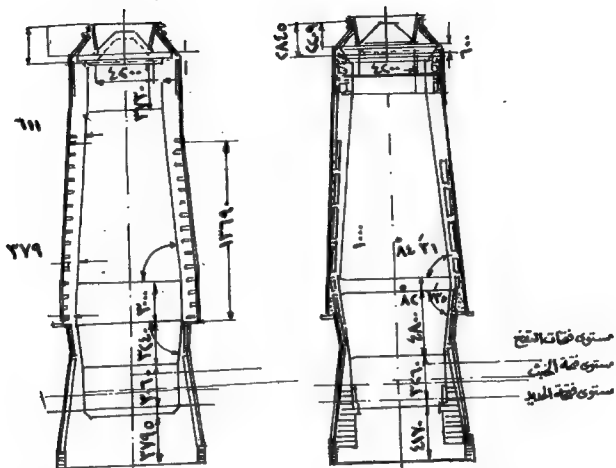
١ - تبريد الطوب المبطن للفرن :

نظرا لما يتطلبه الحفاظ على شكل « بروفيل » الفرن الداخلى ، وبالتالى ضرورة المحافظة على سلامة الطوب الحرارى المبطن بالفرن ، خاصة بمنطقة المخروط العلوى ، فقد أدخل نظام تبريد الطوب المبطن للفرن :

وقد تعددت أشكال وتصميمات معدات التبريد المستخدمة ، ولكنها تلتخص فى استخدام مبردات أفقية أو رأسية ، نظرا لما لكل من النوعين من عيوب . فلقد أدخل حاليا نظام جديد يجمع بينهما أنظر الشكل (٥٢) ، وبه أمكن تحقيق تشغيل منتظم للفرن ، وامتنع تطبيق الشحنات ، وتحسين توزيع الغازات على مقطع الفرن ، وأمكن الحفاظ على البطانة نسبيا فقد وجد بجالة جيدة بعد ثمانى سنوات من التشغيل فى أحد أفران الاتحاد السوفيتى . حيث تم تركيب هذا التصميم الحديث للمبردات بها ، الشكل (٥٢) .



شكل رقم (٥١) تبريد ميا في بطانة الفنز باستخدام
المبردات داخل الميا في وصناديق
التبريد المكشوفة



شكل (٥٤) تبريد بطانة الفرن باستخدام المبردات المكثوفة
أو المبردات داخل المباني

٢ - تبريد مبانى قاعدة الفرن :

يتآكل الطوب المبطن لبوتقة الصهر ، نتيجة تأثير المعدن الملامس له ، وقد يستفحل التآكل ، ويتسبب في كثير من الأحيان ، ويمتد فيؤثر على الطبقات التى تلى القاع ، ليصل حتى القاعدة الخرسانية للفرن . ولقد أدخل نظام تبريد ، باستخدام الهواء الجوى المضغوط والماء ، بما يسمح لها بالمرور خلال مواسير خاصة ، توضع في نهاية الطوب الكربون المبطن لقاع بوتقة الصهر ، بهدف تبريد المناطق التى تعملها ، وبالتالي الحد من سرعة تآكلها ، والحفاظ عليها .

ولقد تم تطبيق ذلك في العديد من الأفران الحديثة بالاتحاد السوفيتى واليابان ، وثبتت فاعليتها ، إذ أصبحت حرارة الطوب في أحد الأفران بمصنع كوفشتنا روسك الروسى ٣٤ م على بعد ٠.٩ متر أعلى المواسير ، بعد أن كانت ٤٤٠ درجة مئوية . ونتيجة لذلك ، أمكن تخفيض سمك مبانى قاع بوتقة الصهر .

٣ - تبريد بلوف الهواء الساخن والودنات بالتبخير لماء التبريد :

وتستخدم هذه الطريقة في التبريد ، في المصانع التى بها عجز في مصادر المياه ، أو التى تحوى مياهها أملاجا ، أو تكون مياهها من النوع العسر بعد تنقيتها كيميائيا ، إذ يستغل تحويل ماء التبريد إلى بخار ، وما يتطلبه ذلك من كميات كبيرة من الحرارة ، في تبريد جسم بلف الهواء الساخن (غير أن الطريقة لا تزال تحت التجربة) ، ويؤدى ذلك إلى إنتاج كميات كبيرة من البخار اللازم لباقي وحدات المصانع ، ولقد تمت تجربة استخدام هذه النظرية في تبريد الودنات بمصانع ماجنيتوجورسك الروسى - ولا تزال تحت التجربة أيضا - وأدى ذلك إلى تخفيض استهلاك المياه الصناعية بما يعادل ٧٠٪ .
التحكم في فارق الضغط بين القمة وبوتقة الصهر :

يتطلب نظام هبوط البهينات داخل الفرن ، وجود فرق محدد لكل فرق بين ضسقطى

٤ - استخدام مجارى الحديد المتحركة :

ويتم في هذه الحالة ، وضع بواشق على خط سكك الحديد الداخلية المجاور لمبانى صالة الصب . ثم توضع بوتقة أمام مصب المجرى الأولى لمجارى الحديد أو الخبت ، على خط مجاور للخط الأول ، ويصب المعدن بعدئذ ليلاً بوتقة الحديد الأولى ، وقرب استلثها ، يتحرك

يجرى مركبة على ذراع مثبت بقاعدة مبانى الصالة ، ليصبح على استقامة الجرى الأصل ، وتتلق المعدن الساقط من مجارى الصب ، لتحويله إلى البوتقة المقابلة الموجودة على الخط الاحتياطي ، ويبدأ في سحب بواق الحديد ، وضبط بودقة جديدة ، تحت مزارب الصب ، وعندئذ يغير وضع الجرى المتحرك ، فيتساق المعدن في البودقة الثانية ليلاًها ، وهكذا حتى نهاية الصب ، ولقد كانت هذه الطريقة ، سببا في تخفيض استهلاك كمية رمل المسالك والطينة الحرارية اللازمة لتبطين مجارى الحديد إلى ٢٥٪ من الأصل ، وكذا قللت من جهود العاملين في النظافة ، وإعادة التبطين .

٥ - استخدام ودنات نفخ إضافية :

في الفرن الأول بمصنع زباروجيا ، حيث ينتج الفرن فيرومنجنيز ، ونظرا للحاجة إلى درجات حرارة عالية بيودقة الصهر ، فقد جهز الفرن بثلاث ودنات إضافية ينفخ من خلالها الهواء اللاصق القنى بالأكسجين ، وبالتالي يتحسن الأداء . وهذه طريقة يرى الكثيرون صلاحيتها ، إذا لزم الأمر ، لإنتاج فيرومنجنيز بالأفران الكبيرة ، وحتى لا تتكون رواسب بيودقة الصهر ، الشكل .

٦ - تطوير عملية نقل المعدن السائل :

وتم حاليا استخدام بواق خاصة في نقل المعدن من الأفران إلى الصلب ، ويتطلب ذلك صيانات القاطرات ، وقضبان السكك الحديدية ، والبواق ، والأوناش ، الخ . من المعدات اللازمة . وبمنا عن الوفر في الجهد في المعالة وفي التكاليف ، مع تحقيق الحفاظ على درجة حرارة المعدن من الأفران حتى الصلب ، تتجه بعض الدول حاليا - وخاصة الاتحاد السوفيتى - إلى إيجاد وسيلة أخرى للنقل بالأنابيب من الأفران إلى قسم الصلب . وتم تجربة هذا النظام في مصنع سيارات موسكوفتش ، حيث ينقل ناتج الكيوبلا إلى المسبك ، باستخدام مجال كهربائى مغناطيسى لتوجيه المعدن ، وحيث لا يتأثر الخبث المرافق له ، والذي يمكن فصله ، وعموما ، هنالك اتجاه عام للإقلال من عمليات النقل الداخلى بالمصانع .

وفي سبيل الإقلال من عمليات النقل بين الأفران والصلب ، وتحسين المحافظة على حرارة المعدن ، لجأت غالبية الدول ، إلى زيادة سعة البواق المستخدمة ، وتطوير أشكالها (الطوريد) ، والذي تصل سعة بعض وحداته إلى ٤٥٠ طنا حاليا ، ويستخدم مع الأفران الكبيرة .

٧ - استخدام الأفران العالية ذات الصب المستمر:

بالنظر إلى التحسين المستمر في تشغيل الأفران العالية، وابتقاء الاقتصاد في النفقات والعمالة خاصة، وسعي وراء تحقيق إنتاج أكبر وأكبر من الصلب في جميع دول العالم، فإن حجم الأفران العالية تزايد، حتى أصبحت بعض الدول تمتلك أفراناً بأحجام تصل إلى ٤٥٠٠ م^٣، ونظراً لزيادة كفاءة استغلال الحجم الفعال للأفران، نتيجة زيادة قدرتها على الصهر، والتمكن من السيطرة تماماً على العمليات بها، فإن هذه الأفران ستنتج يومياً ما يزيد على ٩٠٠٠ طن، ولما كان ارتفاع يواثق الصهر، والمسافة بين مستوى الودنات ومستوى فتحة الخبث وبين المستوى الأخيرة وفتحة الحديد، مسافات محددة، ولا يمكن تجاوزها في التصميم الأصلي، دون الإضرار بعمليات الفرن، أصبحت الأحجام التي يتجمع بها كل من الخبث أو المعدن، أقل بكثير من المطلوب في حالة التشغيل العادي، مما يستلزم دوام الاضطرار إلى فتح فتحة الحديد على فترات زمنية صغيرة، الأمر الذي يؤثر في تماسكها، ويؤدي إلى انهيارها. ولذا لجأ المصممون إلى تزويد الأفران الكبيرة بفتح خبث أو ثلاث، يسحب الخبث منها على التوالي، ولجأ بعضهم إلى تزويد الفرن بفتح حديد، ما أن تنتهي الصبة بإحداها، حتى يصب الفرن من الفتحة الأخرى، بمعنى تزويد الفرن بصالتي صب (في العادة صالات مشتركة مع أفران مجاورة) . وهذا يكون الصب بالأفران هذه، قد تطور إلى الصب المستمر.

٨ - تجهيز شحنة الفرن:

يطول الحديث إذا ما تعرضنا تفصيلاً إلى الآثار المترتبة على إعداد، وتجهيز، وتجنيس، واختبار شحنة الفرن، غير أنه يمكن تلخيص ذلك، في أن سبق حقيقته أية دولة من دول العالم المتقدمة في مجال زيادة الانتاج وخفض التكاليف، كان مرجعه إلى الإعداد الصحيح والسليم لشحنة الفرن العالي. وفي هذا المضمار، وسعي وراء تحقيق هذا الهدف، ثم تطوير عمليات التجنيس وعمليات النخل والطحن... الخ. وفي اليابان، يطحن خام الحديد، ثم يقسم إلى ثلاثة أحجام كالآتي:

- الحام بحجم ٢٥ - ٤٠ سم، يشحن بالفرن مباشرة
- الحام بحجم أقل من ٢٥ - يطحن ثانية ويستغل كالآتي:
- (أ) الحام بحجم ٣ مم - ١٠ مم للتكوير والتطويب
- (ب) الحام بحجم أقل من ٣ مم للتلييد

ثم تشحن هذه الخامات بنسب محدودة في الفرن لتضمن مسامية معينة وتضمن تحاليل مناسبة للمعدن المنتج .

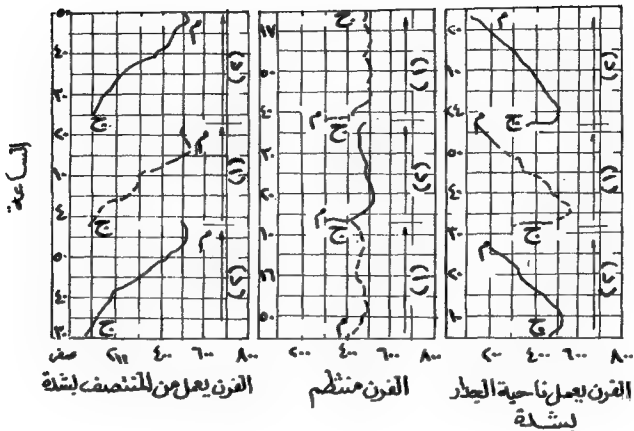
والأمثلة على مدى ما تبذله الدول في هذا المجال كثيرة ، فمنها من يهتم بعمليات النقل ، ومنع شحن أحجام أقل أو أكثر من حجم معين ، وبعضها يلجأ إلى شحن الليد في درجة حرارة مرتفعة نسبياً ، لتحسين اقتصاديات الكوك والتليد . الخ .

٩ - زيادة إحكام مراقبة الأفران :

الأفران العالية ، من الوحدات الإنتاجية التي تكون دائرة تشغيل مغلقة ، بمعنى أنه لا يمكن مشاهدة ما يجري بداخل الفرن ، وفي المناطق المختلفة فيه ، ولهذا تجهز الأفران بالعديد من أجهزة القياس الدقيقة ، التي يختص كل منها بمهمة معينة ، تظهرها على لوحات التسجيل ، ليقوم العاملون بتحليلها ، والربط بينها ، بهدف معرفة مجريات العمليات المختلفة ، وفي سبيل ذلك ، تجهز الأفران بازديادات حرارية في مستويات متعددة ، لقياس درجة حرارة الغازات ، وأخرى لقياس درجة حرارة المياه المحيطة للفرن أنظر الشكل (٥٣) كما تستعمل لنفس الهدف ، النظائر المشعة ، التي توضع على أبعاد مختلفة في مستوى واحد ، ثم تكرر في مستويات أخرى . وكما تستخدم النظائر المشعة لقياس عمق التسحنة . الخ . هذا ، وفي سبيل زيادة المراقبة ، تزود الأفران بأجهزة خاصة ، تمكن من الحصول على عينات من الغازات الصاعدة في الفرن ، لتحللها ، حتى يتسنى معرفة ما يدور بداخل الفرن ، وهكذا نجد أن الاتجاه الحديث ، هو وضع أجهزة قياس في الأفران ، بحيث توضح نتائجها ما يخفى عن العين من عمليات .

تطبيق اتجاهات التشغيل الجديدة بافران التوسعات بالحديد والصلب :

رغبة في مسايرة العصر الحديث ، وبناء الدولة الصناعية المتقدمة ، وإرساء قاعدة الصناعات الثقيلة والصناعات الهندسية المعتمدة عليها ، قامت جمهورية مصر العربية بتنفيذ مشروع التوسعات بمصانع الحديد والصلب ، لزيادة طاقتها الإنتاجية إلى ١,٧٥ مليون طن من الصلب الأكسجيني والكهرباء . ويحتاج ذلك إلى مثل هذا الرقم من الحديد الزهر ، الذي سوف ينتج من الأفران الحالية ، بعد تطويرها ورفع كفاءتها ، بالإضافة إلى فرين جديدين ، حجم كل منها ١٠٣٢ م بإنتاجية قدرها ١٩١٥ طن / يوم / الفرن . ولا شك أنه لتحقيق هذا الإنتاج ، كان من المهم أن يتمسك الجانب العربي بتجهيز الأفران الجديدة



ج : عند جدار الفرن
 م : عند منتصف الفرن
 درجات حرارة الغاز م

شكل رقم (٥٢) -

يبين درجة حرارة الغازات على أبعاد مختلفة عند مستوى القياس
 وعلاقتها بتشغيل الفرن

- ومعداتنا، بأحدث ما وصل اليه تطويرها، والتي تكفل تطبيق الاتجاهات الحديثة في فن تشغيل الأفران، ولقد قام الجانب السوقى (المورد) من ناحيته، بتحقيق هذه الرغبات جميعها. و نستعرض فيما يلى وبإيجاز، الاتجاهات الحديثة التى ستطبق فى الأفران العالية:
- ١ - الاهتمام بتجهيز شحنة الفرن، واستخدام اللبىد المتوازن، مع المحافظة على تذبذب تحليل هذا اللبىد فى أضيق الحدود (٠.٥ ٪) للحديد والسيليكا.
 - ٢ - قصر عدد الخامات الحديدية المستخدمة بالأفران العالية على واحد فقط، بدلا من عددها البالغ فى الأفران الحالية سبعة خامات، وبالتالي ضمان تناسق الشحنة.
 - ٣ - فصل نواعم اللبىد التى تقل عن ٨ مم قبل شحنها بالأفران مباشرة، وبالتالي القضاء على تأثير النواعم السوء، وضمان حسن مسامية شحنة الفرن. وتقدر الزيادة فى الإنتاج نتيجة غربة اللبىد بحوالى ١٠ ٪ من الإنتاج العادى للفرن.
 - ٤ - استخدام الكوك المتجانس التحليل، والذى يحوى أقل من ٠.٨ ٪ كبريت مع غربلته قبل الشحن مباشرة، وفصل الأحجام التى تقل عن ٤٠ مم.
 - ٥ - استخدام درجات حرارة مرتفعة لهواء النفخ (١٠٠٠ °م)، وتسمح الإمكانيات برفعها إلى (١١٠٠ °م). ومن المعروف أن زيادة ١٠٠ °م حرارة بالهواء اللافخ، تقابلها ٢ ٪ زيادة فى إنتاجية الفرن، وانخفاض فى استهلاك الكوك بنفس النسبة تقريبا.
 - ٦ - استخدام الضغط العالى عنه قة الفرن.
 - ٧ - استخدام السيور الناقلة فى عمليات النقل بين الأفران والتلييد وصنع الكوك.
 - ٨ - تجهيز الأفران بالإمكانيات اللازمة لحقن هواء النفخ بفائض من الأوكسجين، بعد تغطية احتياجات محولات الصلب الأوكسيجينية، وكذا تجهيزها بإمكانيات حقن المازوت والغازات الطبيعية.

valve	بلف
viscosity	لزوجة
volatile matter	مواد متطايرة
washer	غسال - منظف
washing tower	برج غسيل
waste gas	غازات عادمة
water separator	فاصل مياه
wet cleaning method	طرق تنقية مبللة
zinc	خارصين
zone	منطقة
slag basicity	قاعدية الخبث
slag notch	جلية الخبث
slag yard	حوش الخبث
slipping	انزلاق
smelting	صهر
solubility	قابلية الذوبان
sounding rods	المجاث
specification	مواصفات
stack	المفروط العلوى
storage yard	حوش الخامات
tap hole	فتحة خروج الحديد
tar	قار
temperature	درجة حرارة
tensile strength	قوة الشد
top revolving device	جهاز توزيع السمعة الدوراني
turbo-blower	توربينات نفخ الهواء
tuyere	ودنة
tuyere level	مستوى الودنات
useful volume	المجمم الفعال

pouring position	وضع الصب
preventive maintenance	الصيانة الوقائية
probability	احتمالات
purity	نقاء
radiation	إشعاع
rate of blowing	معدل النفخ
rate of driving	معدل التشغيل
rate of reaction	معدل التفاعل
reaction	تفاعل
reduction	اختزال
refractory bricks	طوب حرارى
residual	مخلفات
rotary furnaces	أفران دورانية
runners	مجارى
scaffold	رواسب
scale car	عربة ميزان
self fluxing sinter	ليبد متوازن
settler	مروقات مياه
silica	السيليكا
sinter	ليبد
methane	غاز الميثان
mill scale	قشور الدرفلة
mine	منجم
mixer	خلاط الحديد
moisture	رطوبة
nitrogen	نيتروجين
nozzle	نافذة

ore crusher	كسارة الخام
ore distributing car	عربات توزيع الخامات
outward butter	زاوية ميل المخروط السفلى
oxidation	أكسدة
oxygen enriched blast	هواء لاقح غنى بالأوكسجين
pan system	طريقة القواديس
pelletising	تكوير
phosphor	الفوسفور
pig iron	حديد خام
pilluting	سقوط قلب النخنة
pneumatic hammer	مطرقة هوائية
porosity	مسامية
impurities	شوائب
iron and steel making	صناعة الحديد والصلب
irregularities	اضطراب
ladle	بودقة
lance	لهب
large bell	الجرس الكبير
lay-out	تخطيط المصنع
leaking of tuyeres	رشح الودنات
lifting device	جهاز رفع
limestone	الحجر الجيري
limonite	ليمونيت
lining	بطانة
low carbon steel	صلب منخفض الكربون
lowshaft furnace	الأفران القصيرة
magnetic concentration	التركيز المغناطيسي
magnesite bricks	طوب ماجنيزيت

magnetite	ماجنتيت
manganese ore	خام المنجنيز
man-hole	فتحة تفتيش
manometer	مانومتر
gas offtake pipes	مواسير تجميع الغازات
granulation of slag	تحييب الخبث
graphite	جرافيت
grate bars	ياطات حصيرة التلييد
grinding	طحن
hanging of B. F.	تمليق شحنة الفرن العالي
hearth	بودقة الصهر
heating gases	غازات التسخين
hematite iron	حديد هيماتيتي
hematite ore	خام هيماتيتي
hot blast	الهواء اللافح
hot blast stoves	مسخنات الهواء
hot metal ladles	بواق المعدن الساخن
hot spots	البقع الحمراء
humidity	رطوبة
hydraulic system	النظام الهيدروليكي
ignition	إشعال
indicator	مؤشر
indirect reduction	اختزال غير قياسي
injection	حقن
insulation	عزل
exothermic reaction	تفاعل طارد للحرارة
extractive metallurgy	علم استخراج المعادن
fayalite	الفاليت
ferric oxide	أكسيد حديدك

ferro-manganese	فيرو منجنيز
ferro-silicon	فيرو سيلكون
ferrous oxide	أكسيد حديدوز
fine bricks	كسر الطوب
fine ore	الحام الناعم
fixed carbon	الكربون الثبات
flux	مساعد صهر
friction	احتكاك
fuel	وقود
fumes	أدخنة
fusibility	قابلية الانصهار
fusion zone	منطقة الانصهار
gangue	شوائب
gas checker	غرفة احتراق الغاز بالمسختات
gas cleaning plant	وحدة تنظيف الغاز
gas holder	خزان الغازات
descending charge	الشحنة الهابطة
desintegrator	توربينة تنقية ودفع الغاز
desulphurization	إزالة الكبريت
diffusion	انتشار
direct reduction	اختزال مباشر
discharge roller	دلافين التخريج
distillation	تقطير
distributor	موزع
distribution car	عربة توزيع
dolomite	الدولوميت
dome	قبة
down commons	ماسورة التجميع الهابطة - المنطوى
dry flue gas	غاز جاف
dry methods	طرق جافة
dust catcher	مجمع الأتربة

earth coal	فحم ترابي
eddy flow	ندفق
electrostatic preparation	ترسيب كهربائي
electrostatic purification	تنقية كهربائية
emergency stoppage	توقف اضطرارى
endothermic reaction	تفاعل ماص للحرارة
errection crane	وتش تركيب
exhaust gases	غازات العادم
blind-flanche	سدة فلنشة
blowing out	إيقاف الفرن
blowing period	فترة التفخ
butterfly valve	عينا اختناق
calcination	كلسنة
carbon	كربون
carbonate	الكربونات
carbon monoxide	أول أكسيد الكربون
catalyst	مساعدة تفاعل
charcoal	فحم نباتي
charge	شحنة
chargingn basket	سلة الشحن
charging skip	عربة شحن الفرن
charging system	مجموعة شحن الفرن
coke consumption	معدل استهلاك الكوك
coking	تكويك
combustion chamber	غرفة احتراق
cocontrolling room	غرفة مراقبة
cooling bed	فرشة تبريد
cooling tower	برج تبريد
cooling water system	دورة مياه تبريد

المصطلحات الفنية

الإنجليزي	عربي
critical hearth temperature	درجة الحرارة الحرجة لبودقة الصهر
crushing strength	قوة السحق
cyclone	حلزون - فاصل أتربة حلزوني
absolute zero temperature	درجة الصفر المطلق
acidic burden	شحنة حامضية
additions	إضافات
affinity	قابلية - تألف كيميائي
agent	مساعدة
agglomeration	تجميع الحامات الناعمة
alkalies vapour	بخار قلويات
alumina	أكسيد الألومنيوم
auxiliary services	خدمات مساعدة
available carbon	كربون متوافر
balance	توازن
band system	طريقة الحصىرة
basic steel	صلب قاعدة
bedding	فرشة
bell angle	زاوية ميل الجرس
belly	الأسطوانة
big bell	الجرس الكبير
bin	صومعة
B. F. dust	أتربة غازات الفرن العالي
bleeder valve	بلف تهوية
blende	شحنة عمياء (كوك فقط)
blending	تجنيس

فهرس الكتاب

صفحة

المقدمة	٣
الباب الأول : الخدمات المستخدمة بالفرن العالى	٥
الباب الثانى : وصف الفرن العالى وأهم علاقات تصميم أجزائه	٤٦
الباب الثالث : الحراريات المستخدمة فى بناء بطانة الفرن العالى	٨١
الباب الرابع : الوحدات المساعدة للفرن العالى	٩٠
الباب الخامس : أجهزة القياس والتحكم المستخدمة بالفرن العالى	١١٧
الباب السادس : التفاعلات الكيميائية بالفرن العالى	١٢٩
الباب السابع : تشغيل الفرن العالى - ومتاعب التشغيل	١٦٧
الباب الثامن : حسابات بعض مؤشرات تشغيل الفرن العالى	٢١١
الباب التاسع : الاتجاهات الحديثة فى تشغيل الفرن العالى	٢٣٧
المصطلحات الفنية (إنجليزى - عربى)	٢٦٩

رقم الايداع ١٩٧٧/٢٢.٧

الترقيم الدولي ٧.٦٥-١٥-٩ ISBN

